

ЗЕМЛЯ И

№ 4 (340)
ИЮЛЬ-АВГУСТ, 2021

космонавтика
астрономия
геофизика

ISSN 0044-3948

ВСЕЛЕННАЯ

СОЛНЕЧНАЯ АКТИВНОСТЬ
И СОЦИАЛЬНЫЕ КАТАКЛИЗМЫ: ТЕКУЩИЙ МОМЕНТ

«ТЯНЬГУН» НАЧИНАЕТСЯ

НОВЫЙ АСТРОНОМИЧЕСКИЙ ЦЕНТР ГАИШ МГУ

МАГНИТНОЕ ПЕРЕСОЕДИНЕНИЕ
И ДЕНЬ ВЗЯТИЯ БАСТИЛИИ
СОЛНЦЕ ПОД МИКРОСКОПОМ
КАК МАШИННОЕ ОБУЧЕНИЕ ПОМОГАЕТ
ИЗУЧАТЬ СОЛНЦЕ

НАУЧНО-ПОПУЛЯРНЫЕ ЖУРНАЛЫ ТЕПЕРЬ ДОСТУПНЫ ВСЕМ



Уважаемые коллеги!
Открыта подписка для физических лиц
на номера 2021 г. научно-популярных журналов
«Земля и Вселенная», «Природа»,
«Энергия: экономика, техника, экология»

ЖУРНАЛ «ЗЕМЛЯ И ВСЕЛЕННАЯ»

Стоимость годового комплекта (6 номеров) 1560 руб.

Редакция журнала

Тел.: +7 (495) 276-77-35 (доб. 42-31)

E-mail: zevs@naukaran.com

Шубинский пер., д. 6, стр. 1

ЖУРНАЛ «ПРИРОДА»

Стоимость годового комплекта (12 номеров) 3600 руб.

Редакция журнала

Тел.: +7 (495) 276-77-35 (доб. 41-71)

E-mail: priroda@naukaran.com

Шубинский пер., д. 6, стр. 1

ЖУРНАЛ «ЭНЕРГИЯ: ЭКОНОМИКА, ТЕХНИКА, ЭКОЛОГИЯ»

Стоимость годового комплекта (12 номеров) 3600 руб.

Редакция журнала

Тел.: +7 (495) 362-07-82

E-mail: energy@iht.mpei.ac.ru

ул. Краснознаменская, 17а

**Журналы также можно приобрести в розницу в сети
магазинов «Академнига» по следующим ценам:**

«Земля и Вселенная» — 280 руб.

«Природа» — 320 руб.

«Энергия: экономика, техника, экология» — 320 руб.

**Выпуски и статьи журналов в электронном
виде можно приобрести на сайте libnauka.ru**



СТОИМОСТЬ ОДНОГО ВЫПУСКА/СТАТЬИ ЖУРНАЛА В ЭЛЕКТРОННОМ ВИДЕ, ИЗДАННОГО В 2021 ГОДУ

Журнал	Выпуск (руб.)	Статья (руб.)
«Земля и Вселенная»	229	79
«Природа»	286	79
«Энергия: экономика, техника, экология»	286	79

Подписаться можно в редакциях
указанных журналов.

Убедительная просьба связаться
с редакциями перед визитом.

**В случае возникновения вопросов можно также обращаться
в Управление по выпуску журналов ФГУП «Издательство «Наука»:**

Тел.: +7 (495) 276-77-35 (доб. 43-01)

E-mail: journals@naukaran.com

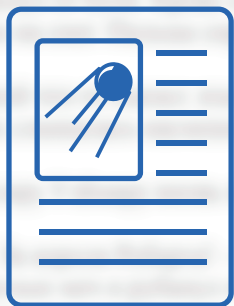


Издательство “Наука” оказывает услуги:

- СОЗДАНИЕ ОРИГИНАЛ-МАКЕТА
 - редактирование
 - вёрстка
 - изготовление рисунков
- ХУДОЖЕСТВЕННОЕ ОФОРМЛЕНИЕ
- ВСЁ КОМПЛЕКС ПОЛИГРАФИЧЕСКИХ УСЛУГ
- РАСПРОСТРАНЕНИЕ В РОЗНИЧНОЙ СЕТИ “АКАДЕМКНИГА”

**Высокопрофессиональные специалисты “Науки”
готовы к сотрудничеству**

naukapublishers.ru



НАУКА

www.libnauka.ru

*Добро пожаловать
в электронную библиотечную систему
Издательства «Наука»!*

Электронная библиотечная система Издательства «Наука» – это простой и удобный доступ к огромной коллекции статей и книг, входящих в портфолио «Науки»

Электронная библиотечная система это:

- научная, научно-популярная и классическая литература, от статей до монографий
- оперативное обновление новинок благодаря тесной интеграции с редакционно-издательской системой «Науки»
- разветвленный тематический каталог
- простая и эффективная система поиска
- интуитивная и простая система оформления заказа и подписок
- прозрачная система статистики
- надежность доступа и стабильность работы

Реклама

Присоединяйтесь к миру «Науки»!

ЗЕМЛЯ И ВСЕЛЕННАЯ

№4 (340)
ИЮЛЬ-АВГУСТ, 2021

ISSN 0044-3948

космонавтика
астрономия
геофизика

Научно-популярный журнал
Российской академии наук
Издается под руководством
Президиума РАН
Выходит с января 1965 года
6 раз в год
«Наука»
Москва

На стр. 1 обложки:

Корональный выброс
массы 31 августа 2012 года.
Для сравнения размеров
на изображении показана Земля.
Изображение: NASA/GSFC/SDO

В НОМЕРЕ:

Колонка главного редактора	3
ЛЕДЕНЦОВ Л.С., СОМОВ Б.В. Магнитное пересоединение и День взятия Бастилии	8
БОГАЧЕВ С.А., УЛЬЯНОВ А.С., КИРИЧЕНКО А.С., ЛОБОДА И.П., РЕВА А.А. Солнце под микроскопом - природа вспышек, микро- и нановспышки	24
ИЛЛАРИОНОВ Е.А., САДЫКОВ В.М. Как машинное обучение помогает изучать Солнце	35
Гипотезы, дискуссии, предложения	
РОДКИН М. В. Солнечная активность и социальные катаклизмы: текущий момент	46
Космонавтика XXI века	
ЛИСОВ И. А. «Тяньгун» начинается	49
Обсерватории, институты	
ШАТСКИЙ Н.И., ТАТАРНИКОВ А.М., КОРНИЛОВ В.Г., ПОТАНИН С.А., ЧЕРЕПАЩУК А.М., БЕЛИНСКИЙ А.А., ПОСТНОВ К.А. Новый астрономический центр ГАИШ МГУ: Кавказская горная обсерватория	61
История науки	
СЕЛИВАНОВА О.В. Пионеры ракетной техники. Документы личных фондов Н.А. Рынина и С.П. Королёва в Архиве РАН	82
Люди науки	
ЕРЕМЕЕВА А.И. Ян Хендрик Оорт	92
История космонавтики	
Майкл Коллинз	104
Литературный космос	
СИНЕЛЬНИКОВ М.И. Пройдя по зеленой Земле...	108
Table of Content and Selected Abstracts	110

Earth&Universe: Astronomy, Geophysics, Cosmonautics
Bimonthly popular scientific magazine of the Russian Academy of Sciences & NAUKA Publishing.
Founded 1965.

Published by NAUKA Publishing, Profsoyuznaya Str., 90, 117997, Moscow, Russia.

Редакционная коллегия:

главный редактор
академик Л.М. ЗЕЛЁНЫЙ,
летчик-космонавт
П.В. ВИНОГРАДОВ,
зам. главного редактора
кандидат филолог. наук
О.В. ЗАКУТНЯЯ,
доктор исторических наук
К.В. ИВАНОВ,
летчик-космонавт
А.Ю. КАЛЕРИ,
кандидат физ.-мат. наук
О.Ю. ЛАВРОВА,
доктор физ.-мат. наук
А.А. ЛУТОВИНОВ,
зам. главного редактора
доктор физ.-мат. наук
О.Ю. МАЛКОВ,
доктор физ.-мат. наук
И.Г. МИТРОФАНОВ,
академик И.И. МОХОВ,
член-корр. РАН
И.Д. НОВИКОВ,
доктор физ.-мат. наук
С.П. ПЕРОВ,
доктор физ.-мат. наук
К.А. ПОСТНОВ,
доктор физ.-мат. наук
М.В. РОДКИН,
научный директор
Московского планетария
Ф.Б. РУБЛЁВА,
член-корр. РАН
А.Л. СОБИСЕВИЧ,
член-корр. РАН
О.Н. СОЛОМИНА,
член-корр. РАН
В.А. СОЛОВЬЁВ,
академик
А.М. ЧЕРЕПАЩУК,
доктор физ.-мат. наук
В.В. ШЕВЧЕНКО,
член-корр. РАН
Б.М. ШУСТОВ

Editorial Board:

Editor-in-chief
Acad. Dr. Lev M. ZELENYI
Acad. Dr. Anatoly M. CHEREPASCHUK
Dr. Konstantin V. IVANOV
Pilot-cosmonaut Alexander Yu. KALERI
Dr. Olga Yu. LAVROVA
Dr. Alexander A. LUTOVINOV
Deputy Editor-in-chief
Dr. Oleg Yu. MALKOV
Dr. Igor G. MITROFANOV
Acad. Dr. Igor I. MOKHOV
RAS Corr.Member Dr. Igor D. NOVIKOV
Dr. Stanislav P. PEROV
Dr. Konstantin A. POSTNOV
Dr. Mikhail V. RODKIN
Faina B. RUBLEVA
Dr. Vladislav V. SHEVCHENKO
RAS Corr. Member Dr. Boris M. SHUSTOV
RAS Corr. Member Dr. Alexey L. SOBISEVICH
RAS Corr. Member Dr. Olga N. SOLOMINA
RAS Corr. Member Dr. Vladimir A. SOLOVYEV
Pilot-cosmonaut Pavel V. VINOGRADOV
Deputy Editor-in-chief
Dr. Olga V. ZAKUTNYAYA

Колонка главного редактора

Дорогие читатели, коллеги, друзья!

Вы держите в руках номер журнала, посвященный Солнцу. Его приглашенным редактором выступил Иван Викторович Зимовец, старший научный сотрудник Института космических исследований РАН.

«Солнечная» тема знакома ему очень хорошо: в 2010 г. защитил кандидатскую диссертацию по специальности «Физика Солнца». Иван Зимовец – ученый секретарь секции «Физика Солнца» Совета РАН по космосу, а также заместитель научного руководителя космического проекта «Интергелиозонд». Соавтор более 50 публикаций в рецензируемых научных журналах и 1 монографии.

Дорогие читатели!

Вы открыли № 4 журнала «Земля и Вселенная» за 2021 год. Это летний выпуск. Мы пишем эти строки в душной комнате, на улице безоблачное небо, аномальная жара и ярко светит Солнце. Что обычно приходит в голову в первую очередь при упоминании о нем? Скорее всего, что это ближайшая к нам звезда, источник света и тепла (по сути, это одно и то же), необходимая для всего живого на Земле. О Солнце мы вспоминаем каждый день, поскольку от него зависит погода за окном и, следовательно, что надеть с утра при выходе из дома. Может казаться, что Солнце – это вполне обыденный и скучный объект. Просто яркий диск, меняющий цвет (от желто-белого до красного) и немного форму в зависимости от времени дня, состояния неба и положения на нем. Если повезет, иногда на этом диске можно заприметить маленькие темные пятнышки, если приглядеться через подзорную трубу или бинокль с установленными фильтрами, ослабляющими яркость, чтобы не ослепнуть.

Однако для ученых, называемых солнечными физиками или гелиофизиками (по-гречески Солнце – «гелиос»), Солнце представляет собой крайне

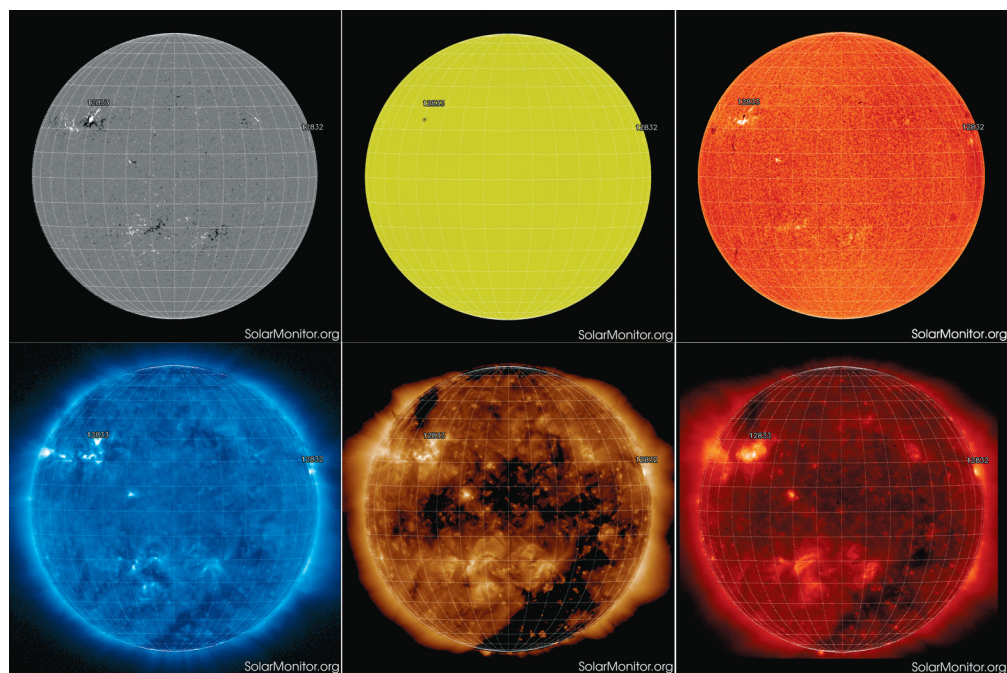
В этом номере мы попытались «раскрыть» Солнце с разных сторон. Но по ходу подготовки оказалось, что даже одного номера недостаточно для публикации всех поступивших статей, поэтому мы начали немного раньше – с предыдущего номера и планируем продолжить в следующих.

Я с большим удовольствием представляю традиционное «открывающее слово» Ивану и желаю Вам интересного чтения, а Ивану дальнейших успехов в солнечной науке и ее популяризации!

*Главный редактор журнала
«Земля и Вселенная»
академик Лев Матвеевич Зелёный*

притягательный объект исследований. Солнце изучают очень давно. Можно считать, что его систематическое исследование началось с конструирования Галилеем (и параллельно несколькими другими учеными) телескопа, обнаружения с его помощью и зарисовки солнечных пятен в 1610 году. С тех пор, благодаря развитию науки и техники, а также неиссякаемому любопытству и кропотливой работе многих поколений ученых, удалось накопить огромный объем знаний о нашем дневном светиле.

Сейчас известно, что Солнце – это вполне рядовая звезда, желтый карлик, коих огромное множество в нашей и других галактиках. Оно прожило уже около 5 миллиардов лет, что составляет примерно половину его жизни. Для описания общих свойств Солнца как звезды разработана сложная и достаточно точная физико-математическая модель, называемая стандартной солнечной моделью. Согласно ей, основная энергия Солнца выделяется в его ядре за счет процесса термоядерного синтеза и далее переносится различными способами к поверхности и сбрасывается в окружающее космическое пространство.



Изображения Солнца в различных диапазонах спектра, 15 июня 2021 г.
(с сайта www.solarmonitor.org)

Мы знаем, что Солнце – не простой стационарный газовый шар. Оно проявляет активность, всплески которой повторяются с периодом примерно 11 лет. Эта активность связана с генерацией и выходом магнитных полей из недр светила на поверхность, в частности, в виде упомянутых уже солнечных пятен – сгустков магнитных полей. Над солнечной поверхностью, видимой невооруженным глазом, (фотосферой, что означает «шар света» на греческом) магнитные поля имеют сложную структуру в виде многочисленных «замкнутых» и «открытых» магнитных трубок. Там энергия магнитного поля может трансформироваться в другие виды – во внутреннюю, кинетическую и механическую энергию ионизированного газа (плазмы), кинетическую энергию ускоряемых до релятивистских скоростей заряженных частиц, энергию электромагнитного излучения в очень широком диапазоне спектра (от длинных

радиоволн до жестких рентгеновских и гамма-лучей).

Процессы трансформации магнитной энергии порождают большое количество разнообразных и захватывающих явлений солнечной активности, таких как солнечные вспышки, плазменные струи (джеты), корональные выбросы массы (КВМ), разнообразные осцилляции и волны в плазменных структурах и множество других, менее масштабных. Верхний, наиболее протяженный, но не видимый в оптическом излучении, слой атмосферы Солнца – корона – постоянно испускает потоки плазмы, называемые солнечным ветром.

Мы действительно обладаем большими знаниями и о внутренних слоях Солнца, и о внешних. Почти для всех основных процессов и явлений на Солнце учеными разработаны модели. И может казаться, что о нашем дневном светиле известно практически все. Некоторые

ученые, работающие в других областях, считают, что на Солнце уже нечего ловить, кроме «блех», имея в виду, что там уже все открыто и понятно. Можно успокоиться и заниматься другими делами. Мол, за исследования Солнца «не светит» Нобелевская премия. Может быть, последнее и верно. Но настоящие исследователи вдохновляются не премиями. Гелиофизики знают, что Солнце все еще хранит множество важных и интересных загадок, решения которых только еще предстоит отыскать.

Продолжать углубленное изучение Солнца нужно по ряду веских причин. Во-первых, это ближайшая к нам звезда, и поэтому мы можем его разглядывать очень пристально, с точностью, которой нельзя достичь при наблюдениях любого другого астрофизического объекта. Можно сказать, что с помощью современных телескопов мы рассматриваем Солнце как бы под микроскопом – почти достигнута возможность наблюдать на его поверхности мельчайшие магнитные структуры с размерами порядка 10–100 км. Такие детальные наблюдения позволяют физикам аккуратно проверять теории и корректировать их в случае необходимости. А далее эти теории можно распространять на множество других, более удаленных звезд. Это подход солнечно-звездных аналогий, предполагающий, что физические законы одинаковы в различных уголках Вселенной.

Солнце для нас является естественной, созданной самой природой гигантской лабораторией, в которой мы можем изучать различные процессы в космической плазме. В земных лабораториях мы не имеем возможности достигнуть в совокупности таких параметров и свойств изучаемых плазменных процессов, какие существуют на Солнце: очень высоких температур плазмы (от миллионов до десятков миллионов градусов), больших пространственных масштабов (десятки–сотни тысяч километров, что много больше радиуса Земли), а также

сильных магнитных полей, удерживающих плазму. На Солнце наблюдается великое множество магнитных конфигураций, чем и определяется разнообразие эффектов солнечной активности.

К примеру, возьмем солнечные вспышки – мощнейшие природные взрывы во всей Солнечной системе (о них подробно говорится в двух статьях этого номера). Несколько десятилетий назад казалось, что уже скоро довольно легко можно будет построить единую теорию вспышек. Но впоследствии оказалось, что они очень не похожи друг на друга. Существует целый «зоопарк» вспышек. В зависимости от начальной, предвспышечной геометрии магнитных полей они проявляют очень разнообразные свойства. Но не все так плохо. Сейчас ученые сходятся ко мнению, что в основе всех вспышек общий движитель – процесс магнитного пересоединения (*об этом можно прочитать в статье Леденцова и Сомова*). Этот «мотор» эффективно «перегоняет» энергию магнитного поля в энергию частиц плазмы, а та, в свою очередь, переходит в другие виды, включая излучение, благодаря которому мы и наблюдаем вспышки. Здесь важно добавить, что магнитное пересоединение – это вездесущий процесс, происходящий почти во всех астрофизических объектах, обладающих плазмой с магнитным полем: в атмосферах звезд, в магнитосферах планет, в аккреционных дисках, в сталкивающихся галактиках. Поэтому детальные наблюдения и исследования солнечных вспышек помогают нам лучше разобраться и с физикой процессов энерговыделения в космической плазме в целом.

Вторая ключевая причина, по которой нам следует продолжать исследования Солнца, заключается в том, что оно является основным источником «космической погоды». Дело здесь в том, что упоминавшиеся выше явления солнечной активности имеют отклик во всей Солнечной системе. К примеру, в солнечной короне произошла мощная вспышка. Разогрев

плазмы во вспышечной области до десятков миллионов градусов приведет к мощным потокам излучения в широком спектре. Ультрафиолетовое, рентгеновское и гамма-излучение, дойдя до Земли примерно за 8 минут, поглотится в верхних слоях атмосферы, в результате чего та немного разогреется и расширится. Это повлечет дополнительное аэродинамическое трение, которое испытают низкоорбитальные спутники, включая Международную космическую станцию (МКС). Им придется тратить дополнительное топливо для корректировки орбит. Всплески радиоизлучения могут вызвать помехи радиосвязи и перебои в системах глобального позиционирования. Ускоренные заряженные частицы (солнечные космические лучи) прилетят почти со скоростью света к Земле и могут вывести из строя электронные системы на космических аппаратах. Также они являются источниками радиации, которая может нанести серьезный вред здоровью космонавтов. Лишь упомянем, что космическая радиация является в настоящее время одним из ключевых факторов, затрудняющих полет человека на Марс. Вспышка может сопровождаться корональным выбросом массы (КВМ), т. е. извержением огромного сгустка плазмы с магнитным полем, распространяющегося в межпланетной среде со скоростью до 3000 км/с. Примерно через 2–3 дня после извержения на Солнце КВМ может долететь до орбиты Земли и натолкнуться на магнитосферу – область, ограниченную от солнечного ветра земным магнитным полем. Это приведет к сильному возмущению всей магнитосферы и часть энергии КВМ попадет внутрь. Произойдет мощная магнитная буря. Ее результатом могут стать как красивые атмосферные явления – северные сияния, так и различные негативные последствия, к примеру выход из строя элементов энергосистем и масштабные перебои подачи электропитания. Люди с проблемами здоровья в это время могут

почувствовать ухудшение самочувствия. Почему это происходит, пока не до конца ясно, и ученые продолжают накапливать информацию. Это раздел науки, называемый гелиобиология, основы которой были заложены в первой половине XX века нашим соотечественником А.Л. Чижевским (*об этом можно кратко прочитать в заметке М.В. Родкина*).

Как видно из приведенного примера, эффектами солнечной активности нельзя пренебрегать. Это становится все более и более актуально в связи с развитием и усложнением разнообразных технических систем на Земле и в космосе. Для дальнейшего освоения космического пространства и для полетов людей на соседние планеты, в первую очередь на Марс, человечество должно решить проблему надежного количественного прогнозирования космической погоды. А для этого мы должны более глубоко понимать физику процессов, происходящих на Солнце.

Исследования Солнца активно продолжают по всему миру. Для этого применяют новые методы, разрабатывают и вводят в эксплуатацию современные, более прецизионные инструменты. Большие успехи достигнуты благодаря наблюдению с космических аппаратов, поскольку они позволяют поместить телескопы вне земной атмосферы, поглощающей солнечное излучение на коротких длинах волн (от ультрафиолета до гамма-лучей). Также космические аппараты позволяют проводить локальные измерения и определять параметры солнечного ветра. На данный момент уже накоплены огромные объемы данных солнечных наблюдений и их все сложнее и сложнее обрабатывать «по старинке». Большие надежды здесь связаны с внедрением в солнечную физику методов машинного обучения и искусственного интеллекта (*о некоторых работах в этой области можно прочитать в статье Е. Илларионова и В. Садыкова*).

Среди последних солнечно-гелиосферных миссий выделяются две – Солнечный зонд «Паркер» (*Parker Solar Probe*) и «Солнечный Орбитер» (*Solar Orbiter*). Первый был запущен NASA (США) в 2018 г. и назван в честь выдающегося астронома-физика Юджина Паркера (Eugene Parker), теоретически предсказавшего наличие и свойства солнечного ветра в середине XX века, которые подтвердились экспериментально на космических аппаратах. Кстати, он стал первым ученым, в честь которого назвали космический аппарат при его жизни. Особенностью зонда «Паркер» является возможность очень близкого подлета к Солнцу – примерно на расстояние около 10 солнечных радиусов. Ранее ни один космический аппарат, созданный людьми, не подходил к Солнцу так близко. Будем надеяться, что он успешно достигнет своей цели и не повторит судьбу легендарного Икара. Это позволит исследовать свойства солнечного ветра в непосредственной близости от источника, что крайне важно для определения механизмов его генерации.

Второй проект – «Солнечный Орбитер», запущенный Европейским космическим агентством при участии NASA в 2020 г. В результате серии гравитационных маневров возле Венеры он сможет выйти из плоскости эклиптики примерно на 30 градусов, что должно позволить ученым заглянуть на солнечные полюса. Это крайне интересные и слабо исследованные области Солнца. Их изучение позволит лучше понять механизмы генерации, эволюции и выхода солнечного магнитного поля.

Другие космические державы также пытаются не отставать в экспериментальных исследованиях Солнца. Так, в конце 2021 или начале 2022 г. ожидается запуск китайской солнечной обсерватории *Advanced Solar Observatory S* (ASO-S). Примерно в это же время Индия планирует запустить свою солнечную обсерваторию *Aditya-L1* («Адитя» – «Солнце» на санскрите) в точку Лагранжа L_1 системы «Солнце–Земля». На борту этих обсерваторий будут

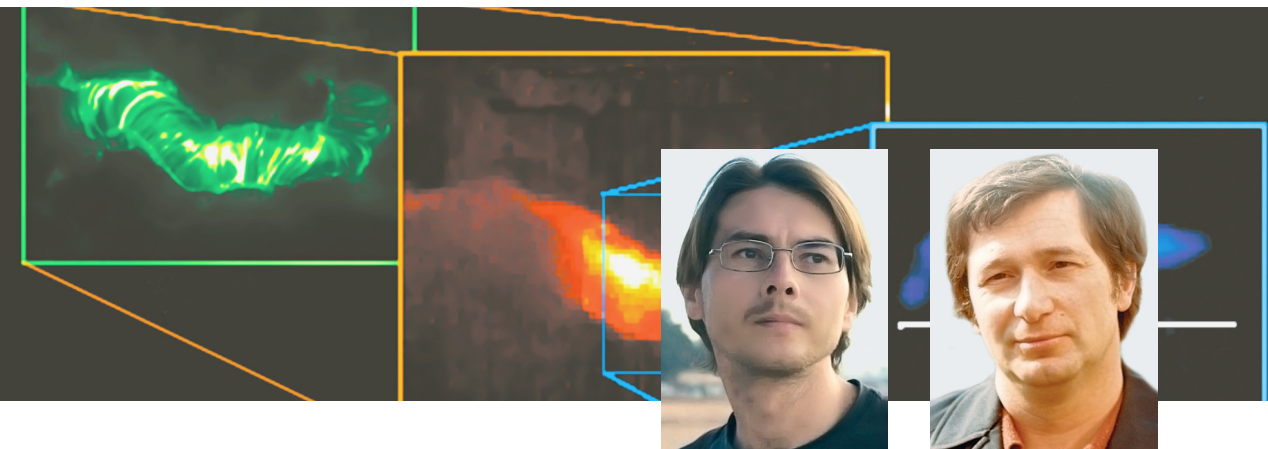
комплексы различных инструментов, которые должны позволить выполнять наблюдения в различных диапазонах спектра. Таким образом, в ближайшем будущем в космосе ожидается мощная флотилия для получения новых сведений о нашей звезде.

К сожалению, Россия пока не может принять полноценное участие в этом грандиозном «космическом заплыве». Два основных отечественных солнечных космических проекта: «Интергелиозонд» (близок, по сути, к «Солнечному Орбитеру») и АРКА – «заморожены», как минимум, до 2025 г. в силу финансовых сложностей. Так же, как и на проходящем во время написания этой заметки чемпионате Европы по футболу, наша страна пока не может на равных соревноваться с другими странами в исследованиях Солнца из космоса. Но все-таки есть и «лучики света в темном царстве». В частности, хоть и со сложностями, но продвигается возведение Сибирского Радиогелиографа (СРГ) в Бадарах (республика Бурятия), и уже начаты некоторые наблюдения. Готовится ряд интересных солнечных экспериментов для доставки на МКС. Ведутся наблюдения за Солнцем и модернизация инструментальной базы в нескольких других наземных российских обсерваториях.

Поэтому российские солнечные физики (солнечники, как они себя иногда позитивно называют) стараются не унывать. Согласно «стандартной модели», Солнце продолжит светить еще как минимум 4–5 млрд лет, и интересная работа для них обязательно найдется. Текущий, 25-й цикл солнечной активности набирает обороты. По некоторым прогнозам, уровень его активности будет ниже предыдущего, 24-го, а тот, в свою очередь, был ниже 23-го, т. е. мы находимся в эпоху понижения солнечной активности. Интересно, как это скажется на климате Земли и на нас с вами? Наблюдения покажут.

Иван Викторович Зимовец,
канд. физ.-мат. наук,
старший научный сотрудник ИКИ РАН

МАГНИТНОЕ ПЕРЕСОЕДИНЕНИЕ И ДЕНЬ ВЗЯТИЯ БАСТИЛИИ



ЛЕДЕНЦОВ Леонид Сергеевич,

кандидат физико-математических наук

СОМОВ Борис Всеволодович,

профессор, доктор физико-математических наук

Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга МГУ

DOI: 10.7868/50044394821040010

Солнечные вспышки в настоящее время стали эталоном для изучения вспышечных процессов электромагнитной природы в современной астрофизике, в частности, в рентгеновской и гамма-астрономии. В отличие от вспышек на других звездах и аналогичных явлений во Вселенной солнечные вспышки представляют возможность для всестороннего изучения процесса магнитного пересоединения в высокотемпературной сильно замагниченной плазме короны, а также в низкотемпературной слабоионизированной плазме фотосферы.

БАСТИЛЬСКАЯ И ДРУГИЕ КРУПНЫЕ ВСПЫШКИ

14 июля 2000 г. около 10:10 UT вблизи центра солнечного диска в активной области NOAA 9077 произошла крупная солнечная вспышка класса X5.7 (это означает, что измеренный пик интенсивности рентгеновского излучения на орбите Земли достиг 5.7×10^{-4} Вт/м²). Событие характеризовалось ярким свечением во всем диапазоне электромаг-

нитных волн, протяженным корональным выбросом массы (КВМ) и большим увеличением потока ускоренных частиц в межпланетном пространстве. Эта вспышка получила название Бастильской вспышки в честь Дня взятия Бастилии. Бастильская вспышка до сих пор остается идеальным примером сильной солнечной вспышки, наблюдавшейся несколькими космическими и наземными обсерваториями и подробно изученной многими исследовательскими группами. Сове-

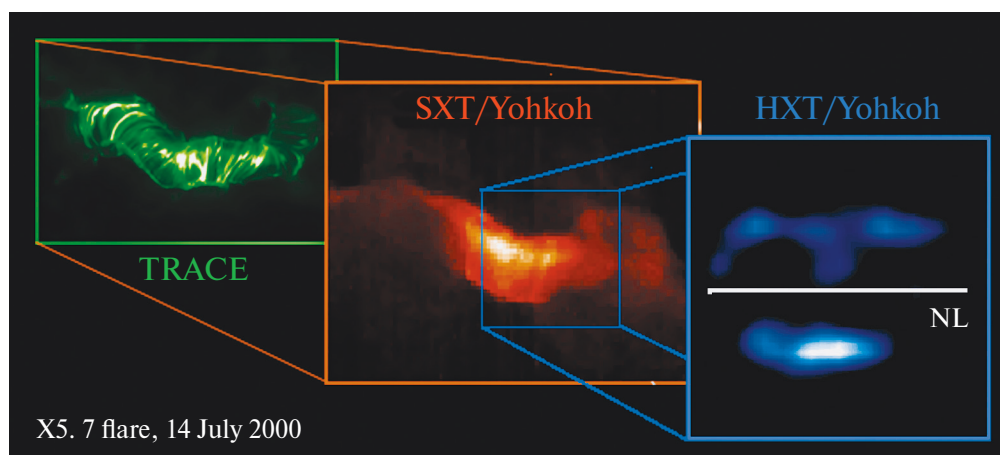
менные многоволновые наблюдения Солнца показывают, что вспышка имела довольно характерное временное развитие для крупных вспышек. Отличительной особенностью Бастильской вспышки стала особая стройность наблюдавшихся магнито-плазменных структур в сочетании с удачным расположением на диске Солнца, позволившем запечатлеть это яркое солнечное событие во всей красе.

Спутник *Yohkoh* наблюдал раннюю фазу (~10:11–10:13 UT) и часть импульсной фазы (от ~10:19 UT) вспышки (рис. 1). Телескоп мягкого рентгена (Soft X-ray Telescope, SXT) на борту *Yohkoh* отснял большую аркаду теплового излучения горячей (порядка нескольких миллионов кельвинов) плазмы в короне. Ширина и длина аркады составили ~30 000 км и ~120 000 км соответственно. Телескоп жесткого рентгена (Hard X-ray Telescope, HXT) ясно показал двухленточную структуру в энергетических диапазонах 33–53 и 53–93 кэВ. Эти снимки представляли

собой суммирование серии последовательно вспыхивавших жестких рентгеновских (Hard X-Ray, HXR) источников в основаниях мягкой рентгеновской (Soft X-Ray, SXR) аркады. Спутник *TRACE* получил изображения аркады в далеком ультрафиолете (Extreme UltraViolet, EUV) с высоким пространственным и временным разрешением. На этих изображениях отчетливо видна структура аркады в виде набора отдельных ярких петель, заполненных горячей плазмой. Видео, составленное из изображений со спутника *TRACE*, доступно на странице миссии: <https://sdowww.lmsal.com/TRACE/POD/movies/BastilledaySlinky3band.mov>

Солнечные вспышки часто показывают *двухленточную структуру* в хромосфере, например, в линии H α . Во время Бастильской вспышки две ленты также хорошо были видны в H α и H β . Две яркие ленты в солнечных вспышках всегда лежат в областях с различными полярностями фотосферного магнитного поля. В промежутке между

Рис. 1. Наблюдения Бастильской вспышки со спутников *Yohkoh* и *TRACE*. На правой панели показаны источники HXR (53–93 кэВ), расположенные в основаниях SXR-аркады (центральная панель), наблюдаемой также в EUV (левая панель). На правой панели белым цветом условно отмечена нейтральная линия (NL). Источник изображений здесь и далее: *Somov B.V. Plasma Astrophysics, Part II, Reconnection and Flares, Second Edition. New York: Springer, 2013*



лентами проходит нейтральная линия (neutral line, NL) магнитного поля – линия смены полярности магнитного поля. Это и другие наблюдательные свойства солнечных вспышек находят убедительную интерпретацию с точки зрения процесса магнитного пересоединения в плазме высокой проводимости.

МАГНИТНОЕ ПЕРЕСОЕДИНЕНИЕ В ВАКУУМЕ

В астрофизической плазме важную роль играют так называемые *нулевые* точки, линии и поверхности магнитного поля, являющиеся областями, где магнитное поле равно нулю $\mathbf{B} = 0$. Они предопределяют большое количество астрофизических явлений. Нас будут интересовать нестационарные явления в солнечной атмосфере (например, вспышки и КВМ), сопровождаемые ускорением частиц до высоких энергий. Аналогичные явления имеют место на других звездах, в магнитосферах планет и компактных остатках звездной эволюции. Нулевые точки магнитного поля чаще всего появляются в местах взаимодействия противонаправленных потоков магнитного поля. Проще всего рассмотреть этот процесс на примере всплывающего потока в солнечной атмосфере.

Рис. 2 показывает источники N и S , соответствующие магнитному полю активной области. Источники n и s формируют новый поток, всплывающий из-под фотосферы Ph . На рис. 2 источники расположены на прямой линии, хотя рассмотрение вполне можно обобщить на произвольные конфигурации источников на фотосфере. Очевидно, можно найти точку над возникающим потоком, где противоположно направленные, но равные по величине магнитные поля «встречаются». Здесь

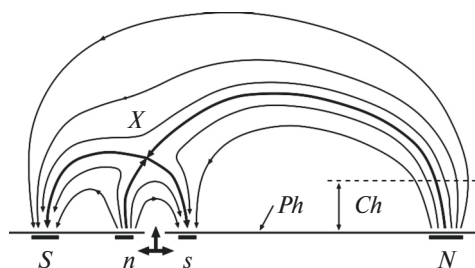


Рис. 2. Всплытие нового магнитного потока n, s из-под фотосферы Ph внутри активной области, магнитное поле которой определяется источниками S и N . Граница хромосферы показана пунктирной линией Ch

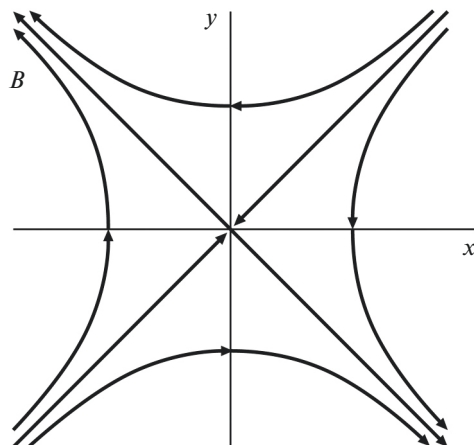


Рис. 3. Гиперболическая нулевая точка (линия вдоль оси z декартовых координат x, y, z) потенциального магнитного поля V

общее поле, т.е. сумма старых и новых полей, равно нулю. Обозначим эту точку через X , имея в виду, что поле в ее окрестности имеет гиперболическую структуру, показанную на рис. 3.

Нулевые точки X -типа представляют собой наиболее важные *топологические* особенности магнитного поля. Это места, где происходит перераспределение магнитных потоков, что меняет связность линий поля. Давайте

проиллюстрируем такой процесс на простейшем примере двух параллельных электрических токов I равной величины в вакууме, показанных на рис. 4. Магнитное поле этих токов образует три разных потока в плоскости (x, y) . Два из них относятся к верхнему и нижнему токам и расположены внутри сепаратрисы – линии поля A_1 , которая образует кривую в виде восьмерки с нулевой X -точкой. Третий поток, расположенный вне этой кривой, принадлежит обоим токам и находится вне сепаратрисы.

Если сместить токи друг к другу, то произойдет перераспределение магнитного потока. Собственные потоки токов уменьшатся на величину, показанную двумя затененными кольцами на рис. 4а, в то время как их общий поток увеличится на ту же величину (затененная область на рисунке 4б). Так линия поля A_2 становится новой сепаратрисой конечного состояния. Этот процесс реализуется следующим образом. Две полевые линии приближаются к X -точке, сливаются там, образуя сепаратрису, а затем *пересоединяются*, формируя линию поля, которая охватывает оба тока. Такой процесс называется пересоединением силовых линий или *магнитным пересоединением*. A_2 – последняя пересоединенная линия поля.

Пересоединение имеет фундаментальное значение для природы многих нестационарных явлений в астрофизической плазме. Процесс магнитного пересоединения неизбежно связан с генерацией электрического поля E в окрестности нулевой точки. Линии магнитного поля перемещаются в нейтральную точку X -типа и пере-

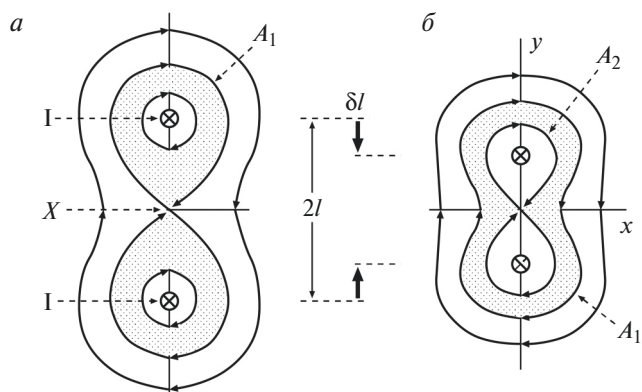


Рис. 4. Потенциальное поле двух параллельных токов I :
(а) начальное состояние, $2l$ – расстояние между токами;
(б) конечное состояние после того, как они сблизились на δl

соединяются в ней, индуцируя электрическое поле, которое может ускорить заряженные частицы в окрестности нулевой точки. Однако пересоединение в вакууме значительно проще, чем пересоединение в высокопроводящей астрофизической плазме.

МАГНИТНОЕ ПЕРЕСОЕДИНЕНИЕ В ПЛАЗМЕ

Учитывая ненулевое индукционное электрическое поле E , плазма начинает дрейфовать со скоростью v_d в магнитном поле B , как показано на рис. 5а. Направление дрейфа плазмы в скрещивающихся электромагнитных полях зависит от взаимного расположения векторов E и B , поэтому на рис. 5а плазма движется к нулевой точке сверху и снизу, но стремится от нее удалиться слева и справа. В непосредственной близости от нулевой точки магнитное поле ослабевает и дрейф прекращается, однако под действием того же электрического поля E в этом регионе начинает течь электрический ток J . Собственное магнитное поле тока меняет начальную топологию так, что вместо одной X -точки на оси x появляются две

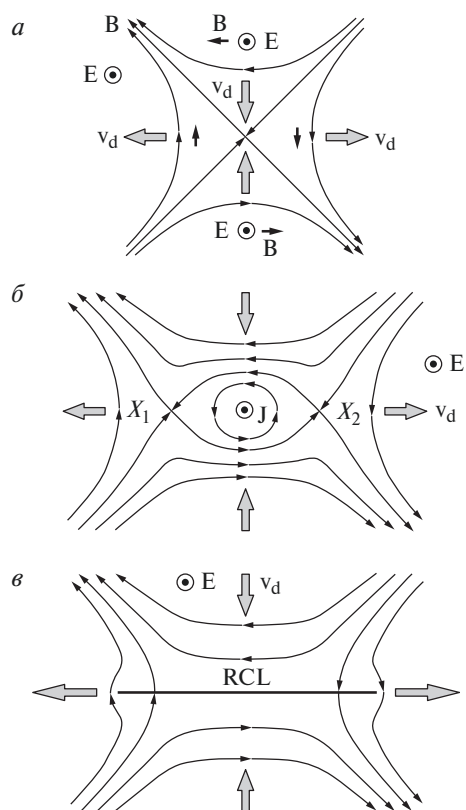


Рис. 5. (а) Течения плазмы вследствие электрического дрейфа в окрестности нулевой точки. (б) Появление вторичных Х-точек – раздвоение исходной нулевой линии, заданной текущим вдоль нее током J . (в) Тонкий пересоединяющий токовый слой (RCL)

симметричные нулевые точки X_1 и X_2 (рис. 5б). Те же аргументы, касающиеся дрейфовых потоков и раздвоения Х-точки, применимы к новым Х-точкам. Результатом взаимодействия линейного тока с внешним гиперболическим полем будет формирование *токового слоя* в области пересоединения. Пересоединяющий токовый слой (Reconnecting Current Layer, RCL) показан жирной сплошной прямой линией на рис. 5в. Направление электрического тока может измениться на краях слоя. Здесь токи могут течь в направлении, противоположном (*обратные токи*) по отношению к основному току (*прямой ток*) в центральной части слоя.

RCL, как правило, по крайней мере *двумерное* и *двухразмерное* образование. Первое означает, что одномерные модели в принципе неадекватны для описания RCL. Во внимание должны быть приняты оба потока плазмы: вдоль слоя (оси x на рис. 6) и поперек слоя. Наличие двух размеров означает, что обычно (для достаточно сильного поля и высокой проводимости, как в солнечной короне) ширина RCL $2b$ намного больше, чем его толщина $2a$. Это важно, так как чем шире пересоединяющий токовый слой, тем больше накапливаемая энергия магнитного поля в области взаимодействия пересоединяемых

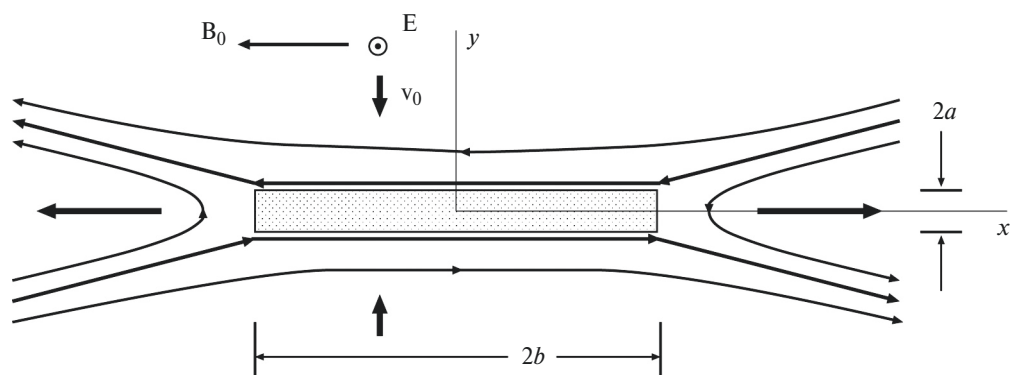


Рис. 6. Простая модель пересоединяющего токового слоя. Толщина слоя $2a$, ширина слоя $2b$

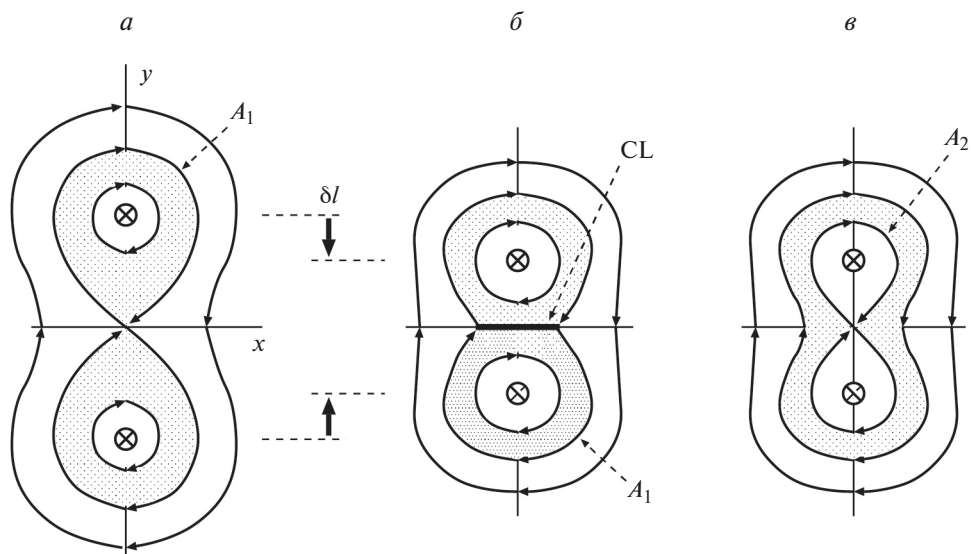


Рис. 7. Три состояния магнитного поля: (а) начальное состояние; (б) состояние перед пересоединением с «непересоединяющим» токовым слоем CL; (в) конечное состояние после пересоединения

потоков. С другой стороны, небольшая толщина является причиной высокой скорости диссипации накопленной энергии, а также возможности возникновения нестационарных процессов в токовом слое. Солнечные вспышки и подобные явления в астрофизической плазме являются результатом быстрого преобразования избыточной энергии магнитного поля токового слоя в тепловые и направленные движения плазмы, а также кинетическую энергию ускоренных частиц.

Вернемся к примеру пересоединения магнитного поля двух параллельных проводников. Пусть теперь эти проводники сближаются в высокопроводящей плазме. Начальное (рис. 7а) и конечное (рис. 7в) состояния магнитного поля около этих проводников те же, что и на рис. 4. Однако, в отличие от случая пересоединения в вакууме, в астрофизической плазме появляется промежуточное состояние. Назовем его состоянием *перед пересоединением*. В этом состоянии элек-

трические токи смещены в их конечные положения, но линии магнитного поля, если проводимость плазмы можно считать *бесконечной*, еще не начали пересоединяться. В плазме бесконечной проводимости пересоединение взаимодействующих магнитных потоков предотвращает расположенный вдоль нейтральной линии X-типа «непересоединяющий» токовый слой (Current Layer, CL). Энергия подобного взаимодействия называется *свободной энергией* магнитного поля – это та энергия, которая заключена в магнитном поле токового слоя. Из-за конечной проводимости астрофизической плазмы магнитное пересоединение происходит медленно (или быстро) в зависимости от того, насколько высока (или низка) проводимость. В любом случае конечное состояние (рис. 7в) после пересоединения оказывается тем же, что и состояние на рис. 4б с линией поля A_2 в качестве сепаратрисы конечного состояния или последней пересоединенной линии.

МАГНИТНОЕ ПЕРЕСОЕДИНЕНИЕ НА СОЛНЦЕ

Впервые о наблюдении вспышки на Солнце в белом свете сообщили Кэррингтон и Ходжсон в 1859 г. Исторически такие вспышки белого света считались исключительно мощными импульсными событиями *солнечной активности*. Фактически частота появления, а также интенсивность солнечных вспышек действительно следуют 11-летнему циклу образования солнечных пятен. С началом частых наблюдений вспышек в 1920-е годы понимание процессов, приводящих к солнечным вспышкам, стало важной насущной задачей астрофизики. Уже ранние исследования показали, что вспышки пре-

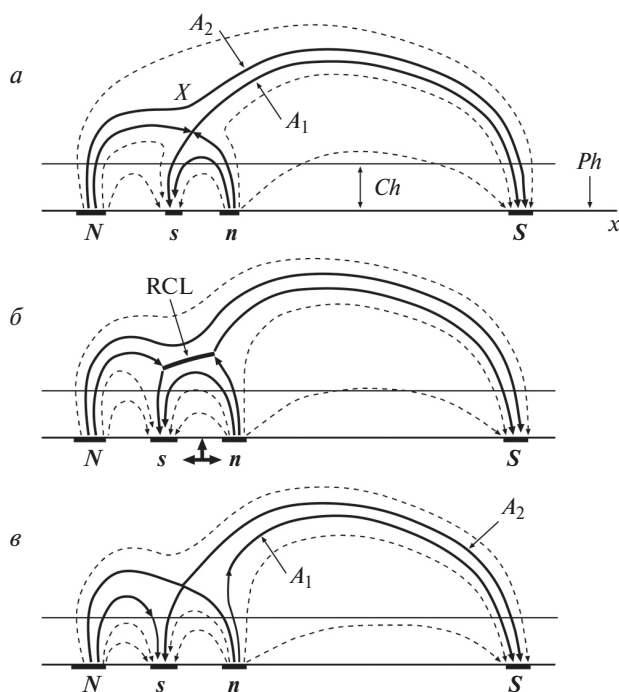
имущественно связаны с сильными сложными магнитными полями. Оценки энергии, необходимой для питания больших вспышек, вместе с их ассоциацией с магнитным полем, привели к выводу о том, что вспышки должны иметь электромагнитное происхождение. Постепенно становилось все яснее, что вспышка – это результат пересоединения силовых линий магнитного поля в короне Солнца.

Согласно современным представлениям, перед вспышкой происходит процесс накопления свободной магнитной энергии в короне и хромосфере Солнца. Свободной является избыточная энергия, превышающая энергию *потенциального* магнитного поля, то есть того поля, чьим источником служат пятна и фоновые поля в фотосфере. Другими сло-

вами, свободная энергия магнитного поля связана с электрическими токами над фотосферой. Быстрым изменениям этих токов соответствует солнечная вспышка. Итак, стоит различать две принципиальные стадии: (1) медленное накопление энергии и (2) ее быстрое высвобождение, то есть вспышку.

Вновь обратимся к классическому примеру эволюции квадрупольной (с четырьмя источниками магнитного поля) конфигурации солнечных пятен, показанной на рис. 8. Пятна противоположной полярности N и S представляют биполярную группу пятен в активной области, пятна n и s моделируют новый всплывающий из-под фотосферы поток. Все четыре пятна расположены вдоль оси x , расположенной

Рис. 8. Классическая схема магнитного пересоединения в солнечной вспышке. Три состояния магнитного поля: (а) начальное состояние, (б) состояние перед пересоединением, (в) конечное состояние после пересоединения



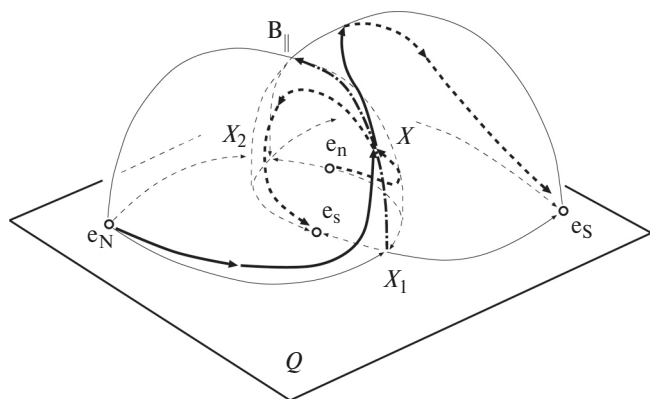


Рис. 10. Линии поля, расположенные в сепаратрисах и подключенные к сепаратору за счет трехмерного пересоединения в точке X . Вектор $B_{\parallel}$ показывает продольную составляющую магнитного поля на сепараторе

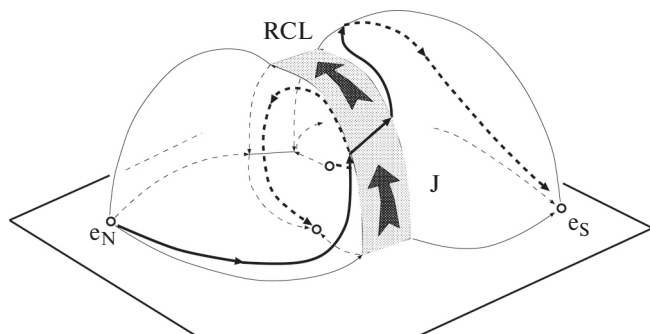


Рис. 11. Схематический вид пересоединяющего токового слоя (RCL) на сепараторе с полным током J

поля сгруппированы в четыре области в соответствии с их источниками. Сепаратрисы потенциального магнитного поля формируются из силовых линий, начинающихся или заканчивающихся в нулевых точках X_1 и X_2 . Линия X_1XX_2 , лежащая на пересечении двух сепаратрис принадлежит всем четырем потокам (два пересоединяющихся и два пересоединенных потока), которые взаимодействуют на этой линии – трехмерном магнитном сепараторе.

Модель потенциального магнитного поля не включает никаких токов, и поэтому в ней невозможно

аккумулировать энергию, необходимую для солнечной вспышки. Реальные силовые линии, подключенные к сепаратору, показаны на рис. 10. Они приходят к нулевой X -точке где-то на сепараторе. Если источники магнитного поля перемещаются или изменяются, поле также претерпевает изменения. В отсутствие плазмы некоторые магнитные потоки проходят через сепаратор и пересоединяются так, что магнитное поле в целом остается потенциальным. Сепаратор, в отличие от нулевой линии, содержит продольную компоненту магнитного поля, однако в присутствии солнечной плазмы он играет ту же роль, что и нулевая линия. В частности, как только появляется сепаратор, электрическое поле E_0 , индуцированное меняющимся магнитным полем – создает электрический ток J вдоль сепаратора.

Ток принимает форму *тонкого широкого* токового слоя (рис. 11). В плазме высокой проводимости токовый слой препятствует перераспределению магнитных потоков, их пересоединению. Процесс *медленного* пересоединения приводит к накоплению энергии в форме магнитной энергии токового слоя – свободной магнитной энергии. Если по какой-то причине процесс пересоединения становится быстрым, свободная энергия магнитного поля быстро преобразуется в кинетическую энергию частиц. Происходит вспышка.

РОЛЬ СХОДЯЩИХСЯ ТЕЧЕНИЙ В ФОТОСФЕРЕ

Двумерные модели пересоединения в солнечных вспышках являются чрезмерным упрощением и не могут объяснить всех особенностей реальных вспышек. Однако их рассмотрение может быть полезным для определения недостающих элементов моделирования вспышки. Рассмотрим *трехкомпонентное* пересоединение на сепараторе в *двух* измерениях. С этим упрощением сепаратор представляет собой прямую линию X в короне над нейтральной линией NL в плоскости фотосферы Ph (рис. 12а). Чтобы уточнить обозначения на рис. 12а, начнем с классического примера пересоединения в плоскости (x, z) . С точки зрения двумерной модели, это означает, что все неизвестные функции не зависят от координаты y . Кроме того, предположим пока, что продольная компонента магнитного поля на сепараторе B_y отсутствует.

Выше плоскости фотосферы на рис. 12а приведены шесть магнитных поверхностей. На рис. 8 эти поверхности соответствуют силовым линиям магнитного поля только в одном срезе, например, в плоскости пересоединения (x, z) , то есть при $y = 0$. Сейчас мы для простоты полагаем, что во всех остальных плоскостях с $y \neq 0$ пересоединение протекает аналогично. Это не обязательно верно в целом и никогда не верно в трехмерных конфигурациях магнитного поля в активных областях на Солнце.

Магнитная поверхность 1 на рис. 12а состоит из силовых линий, идентичных линии f_1 , начинающейся в точке a . Поверхность 2 состоит из силовых линий типа линии f_2 . Силовые линии магнитного поля f_1 и f_2 окаймляют магнитный поток, идущий куда-то вверх ($z > 0$) и влево ($x < 0$) и соединяющий изобра-

женную центральную часть активной области с ее внешней частью (не показана). Для простоты рассмотрим симметричные магнитные поверхности $1'$ и $2'$. Силовые линии f_1' и f_2' имеют вертикальную составляющую B_z противоположного знака относительно линий f_1 и f_2 . Среди магнитных поверхностей, показанных на рисунке, две топологически важны: сепаратрисы S_1 и S_2 , пересекающиеся на сепараторе X .

Пусть рис. 12а описывает начальное состояние магнитной конфигурации. Сходящиеся фотосферные потоки перемещают основания магнитных поверхностей на расстояние δx друг к другу. На сепараторе X возникает медленно пересоединяющий токовый слой (RCL на рис. 12б), который препятствует перераспределению взаимодействующих магнитных потоков. Это приводит к накоплению избыточной энергии в виде энергии магнитного поля RCL. Если J – полный электрический ток в RCL, b – полуширина токового RCL, то величина свободной энергии равна

$$\varepsilon_f = L / 2c^2 \cdot J^2.$$

Здесь

$$L \approx 2l \ln \frac{2l}{b}$$

– самоиндукция RCL, l – его длина вдоль сепаратора.

В случае Бастильской вспышки длина вспышечной аркады составила $\sim 120\,000$ км, то есть $l \sim 10^{10}$ см. При типичной ширине RCL $b \sim 10^9$ см

$$\varepsilon_f = 3 \cdot 10^8 J(A)^2, \text{ эрг.}$$

Следовательно, необходим ток $J \sim 3 \cdot 10^{11} - 10^{12}$ А для такой большой вспышки, как Бастильская, чтобы обеспечить характерную энергию

$$\varepsilon_f = 3 \cdot 10^{31} - 3 \cdot 10^{32}, \text{ эрг.}$$

Такие оценки не противоречат оценкам электрического тока на основе измерений компонент магнитного поля в фотосфере активной области

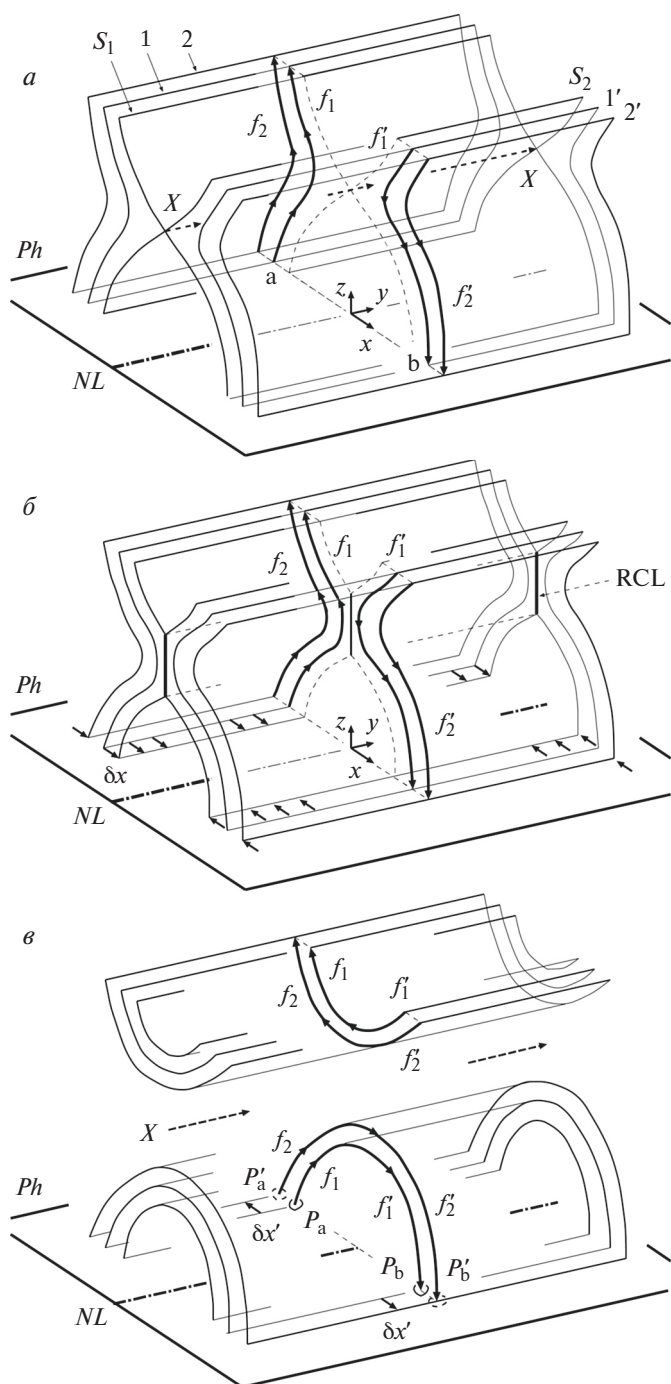


Рис. 12. (а) Начальное состояние магнитного поля. Сепаратрисы S_1 и S_2 пересекаются на сепараторе X . (б) Сходящиеся потоки в фотосфере формируют пересоединяющий токовый слой (RCL) в короне. (в) Видимое движение оснований петель в процессе пересоединения. Расстояние между основаниями вспыхивающих петель увеличивается со временем

NOAA 9077. Точнее, разница непотенциальной энергии магнитного поля до 14 июля и после Бастильской вспышки оказывается даже выше, чем предсказывают приведенные выше оценки. Это означает, что некоторая часть свободной энергии накапливается как дополнительная энергия, связанная с *фотосферным сдвигом* и фотосферным пересоединением. С другой стороны, во время Бастильской вспышки полная тепловая энергия составляла $\leq 3 \times 10^{31}$ эрг., что меньше полной энергии вспышки. Это объясняется тем, что значительная часть энергии вспышки преобразуется в кинетическую энергию быстрых потоков плазмы (КВМ) и энергию ускоренных частиц.

Что можно ожидать в результате быстрого пересоединения в RCL во время вспышки? Быстро пересоединяющий токовый слой обеспечивает мощные потоки энергии вдоль пересоединенных силовых линий. Эти потоки, попадая в верхнюю хромосферу, вызывают импульсный нагрев хромосферной плазмы до высоких температур. Быстрые электроны (ускоренные и сверхгорячие) теряют энергию на кулоновские столкновения с тепловыми электронами плазмы. Это создает гидродинамический и радиационный отклик хромосферы, наблюдаемый в SXR, EUV и оптическом излучении. Неупругие столкновения быстрых электронов с тепловыми протонами и другими ионами генерируют тормозное HXR-излучение, в связи с чем основания пересоединенных силовых линий также становятся яркими в HXR. Яркие HXR-ядра во вспышечных лентах позволяют найти места в короне, где процесс магнитного пересоединения имеет наибольший темп и порождает самые мощные потоки энергии.

Поскольку силовые линии магнитного поля f_1 и f_1' пересоединяются первыми, они образуют первую пересоединенную линию $f_1 f_1'$ и первую пару

хромосферных ярких пятен P_a и P_b , связанных с этой линией, как показано на рис. 12с. Фактически две пересоединившиеся силовые линии создают две другие силовые линии иной магнитной связности. На рис. 12с есть две линии поля $f_1 f_1'$: одна идет вниз (в хромосферу), вторая движется вверх (в межпланетное пространство). Линии поля, движущиеся вверх, формируют КВМ. Силовые линии f_2 и f_2' пересоединяются позже. Они производят новую пару пятен P_a' и P_b' в других точках хромосферы. Очевидно, что расстояние между пятнами P_a' и P_b' больше, чем расстояние между пятнами P_a и P_b .

Следовательно, модель плоского пересоединения с вертикальным RCL предсказывает, что вспышечные яркие ядра, наблюдаемые в EUV, HXR или $\text{H}\alpha$, должны двигаться в противоположных направлениях от фотосферной нейтральной линии. Однако с наблюдательной точки зрения реальные солнечные вспышки не так просты. Существуют некоторые существенные особенности, необъяснимые *стандартной моделью*.

РОЛЬ СДВИГОВЫХ ТЕЧЕНИЙ В ФОТОСФЕРЕ

Выше мы пренебрегли составляющей магнитного поля, параллельной сепаратору, чтобы обсудить классический пример двумерного пересоединения. Однако в реальных условиях солнечной атмосферы пересоединение всегда происходит при наличии продольной компоненты поля. Кроме того, продольная составляющая магнитного поля вблизи сепаратора имеет несколько важных физических последствий для процесса пересоединения в солнечных вспышках. Рассмотрим только те из них, которые являются важными для понимания видимых движений хромосферных лент и ярких

НХR-ядер во время большой двухленточной вспышки.

В непосредственной близости от сепаратора X продольная компонента $B_{\parallel}$ естественно доминирует, потому что ортогональная (перпендикулярная к сепаратору) компонента вектора поля $B_{\perp}$ обращается в нуль на сепараторе. По этой очевидной причине силовые линии магнитного поля, проходящие вблизи сепаратора, вытягиваются вдоль него (рис. 10). Получается, что ортогональные компоненты магнитного поля активно участвуют в пересоединении, а продольные – нет. Следовательно, продольная составляющая играет относительно пассивную роль в топологическом аспекте процесса, но влияет на физические свойства RCL, в частности на скорость пересоединения.

Рисунок 13 показывает случай изменения продольных, или сдвиговых, фотосферных скоростей $v_{\parallel}$ в основаниях разных силовых линий f_1 и f_2 , размещенных на разных магнитных поверхностях 1 и 2. Сходящиеся с противоположных сторон нейтральной линии NL -течения в фотосфере Ph формируют RCL вдоль сепаратора X в короне (рис. 13b). Кроме того, к сходящемуся потоку в фотосфере добавляется сдвиговый поток. Сепаратрисы S_1 и S_2 оказываются вовлечены в крупномасштабное сдвиговое движение вместе с близлежащими поверхностями 1, 2, 1' и 2'. Когда линия поля, например, линия f_1 , перемещается ближе к нейтральной линии NL , она удлиняется вдоль NL под действием сдвигового течения. Линии поля, изначально находившиеся в плоскости (x, z) – выходят из этой плоскости под действием сдвигового потока, за исключением верхней границы короны, которая для простоты иллюстрации предполагается неподверженной воздействию фотосферного сдвига.

Вновь предполагаем, что пересоединение происходит слишком медленно,

чтобы иметь значение. На рис. 13b, переходом между начальным и конечным, источники магнитного поля в фотосфере уже переместились в их положения перед вспышкой, но силовые линии магнитного поля еще не начали пересоединяться. Фотосферные сдвиговые потоки вносят дополнительную энергию в состояние перед пересоединением. Это энергия магнитного натяжения, создаваемая сдвигом из-за «вмороженности» солнечной плазмы в магнитное поле: сдвиговый поток увлекает систему поле–плазма, заставляя полевые линии удлиняться.

Стадия быстрого пересоединения, т.е. импульсная фаза вспышки, показана на рис. 13c. Движущиеся вверх со скоростью U силовые линии могут принимать витую жгутобразную форму, составляя центральную часть KBM. Самое быстрое высвобождение энергии в верхней части сепаратора создаст сначала пару хромосферных ярких точек P_a и P_b , связанных с первой пересоединенной линией $f_1 f_1'$. Затем линии поля f_2 и f_2' , пересоединившись, образуют линию $f_2 f_2'$ с парой ярких точек P_a' и P_b' . Видимое смещение оснований петель, от P_a к P_a' и от P_b к P_b' , состоит из двух слагаемых: $\delta x'$ и $\delta y'$. Первое, $\delta x'$, имеет ту же физическую природу, что и в классическом двумерном пересоединении. Второе, $\delta y'$, связано с увеличением длины линий магнитного поля на двух разных магнитных поверхностях, создаваемом фотосферными сдвиговыми потоками вдоль этих поверхностей. Следовательно, смещение $\delta y'$ во время вспышки представляет собой эффект релаксации непотенциальной составляющей магнитного поля, связанной с фотосферным сдвиговым течением.

Две пересоединенные силовые линии $f_1 f_1'$ и $f_2 f_2'$ имеют разные величины продольной компоненты магнитного поля $B_{\parallel}$. Так как линия $f_1 f_1'$ на рис. 13c пересоединилась раньше, чем

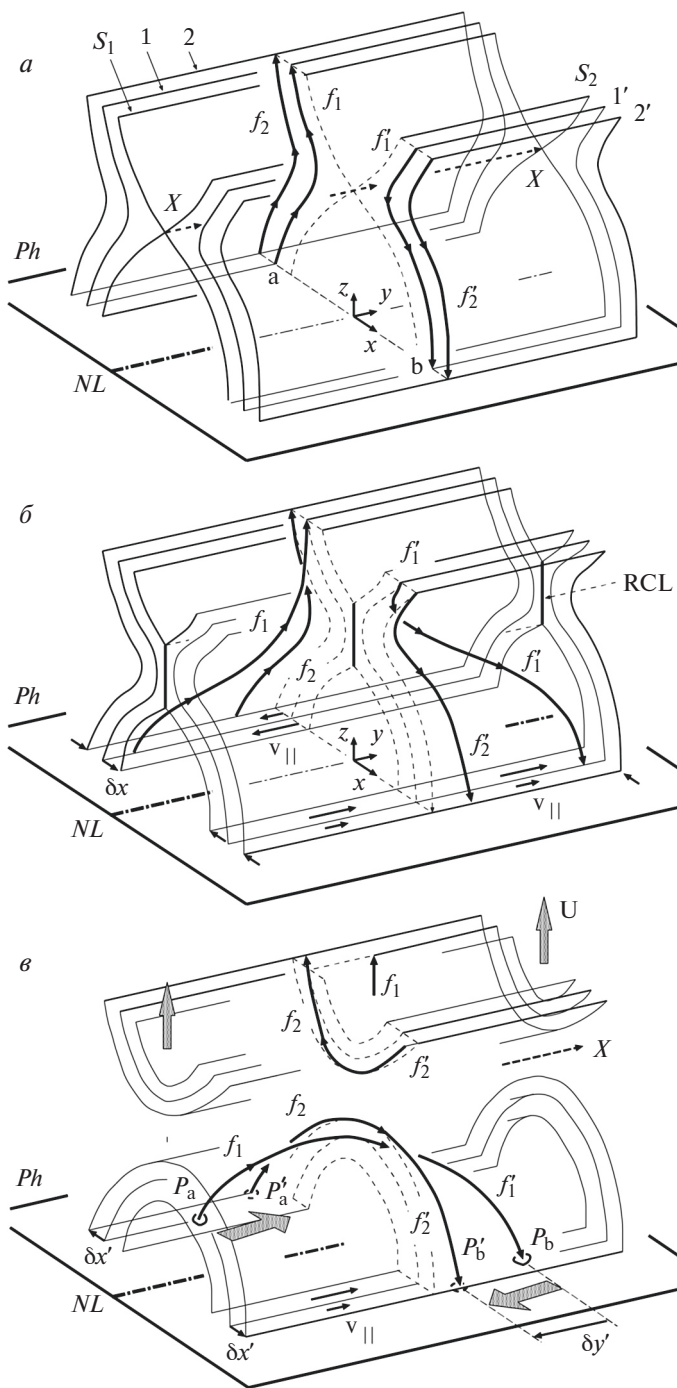


Рис. 13. (а) Начальная конфигурация магнитного поля та же, что на рис. 12. (б) Сходящийся фотосферный поток формирует RCL на сепараторе X . Кроме того, сдвиговое течение в фотосфере $v_{||}$ растягивает силовые линии, что увеличивает энергию магнитного поля. (в) Уменьшающееся расстояние между основаниями петель в следствие релаксации сдвига

линия f_2f_2' , то в процессе пересоединения продольное поле на сепараторе $B_{||}$ уменьшилось. В то же время уменьшилось и расстояние между яркими основаниями петель вдоль оси y . Такой эффект невозможно наблюдать в стандартной двумерной модели солнечной вспышки. С другой стороны, если бы вторая линия поля f_2f_2' пересоединялась раньше, чем первая (если бы она лежала на более близкой к сепаратору магнитной поверхности), то продольное поле на сепараторе $B_{||}$ в процессе пересоединения увеличилось бы, а яркие пятна в основании петель раздвинулись на $\delta y'$.

НАБЛЮДАЕМЫЕ ДВИЖЕНИЯ ЯРКИХ ОСНОВАНИЙ

Стандартная модель вспышки предсказывает увеличение расстояния между яркими основаниями петель на протяжении вспышки, поскольку в процесс пересоединения вовлекаются все более далекие линии магнитного поля. Более полная трехмерная модель пересоединения говорит о том, что уменьшение расстояния в определенных условиях также возможно. Первые наблюдения с борта *RHESSI* подтвердили регулярные, но более сложные, чем предсказывает стандартная модель, движения оснований петель. Так, к примеру, в рассмотренной Бастильской вспышке, кроме прочего, наблюдались движения ярких HXR-ядер от большого сдвига вдоль нейтральной линии к меньшему. Среди всех возможных типов движения HXR-источников стоит выделить *три основных*.

Тип I представляет собой движение ярких оснований почти перпендикулярно упрощенной нейтральной линии (Simplified Neutral Line, SNL), предсказываемое стандартной моделью вспышки (рис. 14а). Однако менее 5% вспышек демонстрируют такую картину движения. Стандартная модель – это сильное упрощение, которое не может

объяснить некоторые особенности реальных вспышек.

Тип II содержит движения HXR-источников вдоль SNL в противоположных направлениях (рис. 14б). Такие движения характерны для четверти вспышек. Этот тип движений указывает на то, что пересоединяющиеся силовые линии сильно растянуты. Угол их наклона по отношению к SNL меняется по мере развития вспышки. Средняя скорость HXR-источников во II типе вспышек, ~35–40 км/с, значительно выше средней скорости во вспышках I типа, ~15 км/с. Разница между количеством вспышек I и II типа говорит о том, что магнитные структуры с сильным сдвигом более естественны для производства вспышек, чем простые двумерные конфигурации без сдвиговых потоков в фотосфере.

Тип III аналогичен типу II, за исключением того, что HXR-источники движутся в одном направлении вдоль SNL (рис. 14в). Так себя проявляет каждая третья вспышка. Параллельные движения оснований петель связаны с «горизонтальным» движением области наиболее эффективного энерговыделения вдоль сепаратора. Средняя скорость этих движений также составляет около 35–40 км/с.

Остальные движения в первом приближении могут быть описаны как сочетание трех основных типов (рис. 14д). Доминирующая часть, ~80% вспышек показывают четкую или смешанную картину движений HXR-источников, свидетельствующую о том, что описанные три типа движений являются основными элементарными движениями ярких оснований петель в солнечных вспышках. Кроме того, они имеют ясную физическую природу: тип I представляет собой пересоединение в короне, тип II указывает на релаксацию сдвига, а тип III связан с движением области быстрого пересоединения по сепаратору.

Каковы причины доминирования одного или двух типов движений над

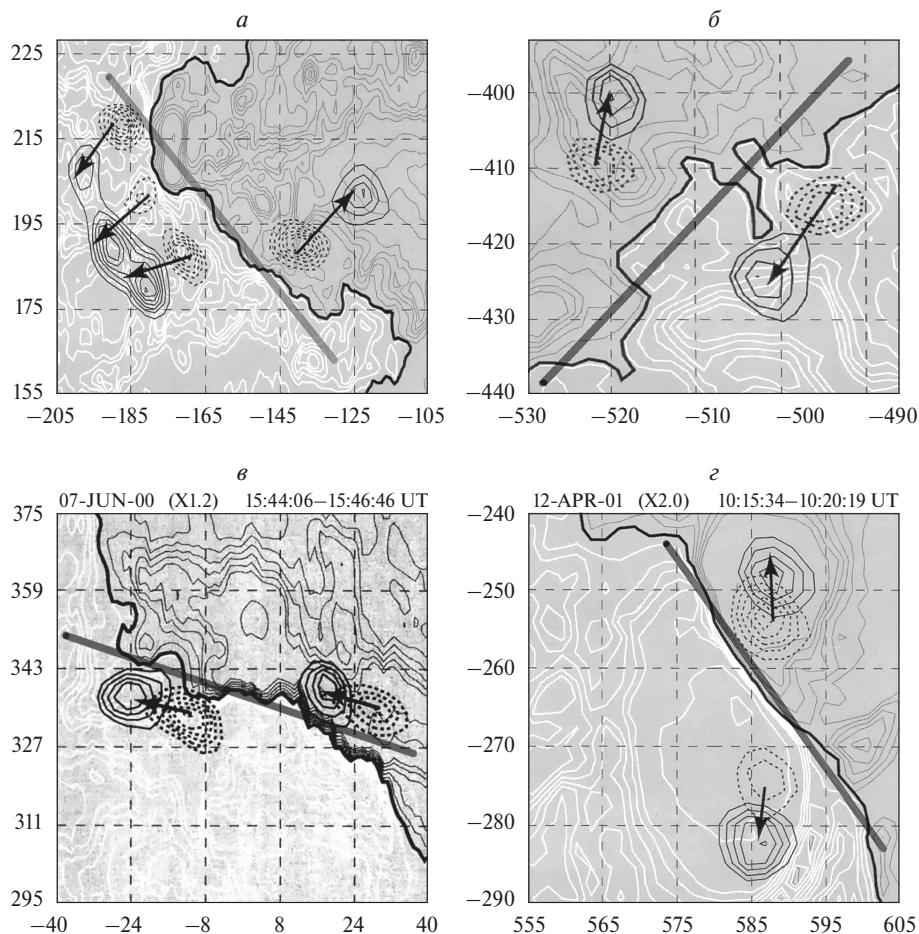


Рис. 14. Различные типы движений HXR-источников (стрелки) на фоне магнитограммы. Пунктирные и сплошные линии под стрелками отмечают соответственно начальное и конечное положения источников. Прямая полупрозрачная линия показывает упрощенную нейтральную линию (SNL) поверх нейтральной линии магнитограммы (ломаная сплошная линия). (а) I тип; (б) II тип; (в) III тип; (г) комбинация I и II типов

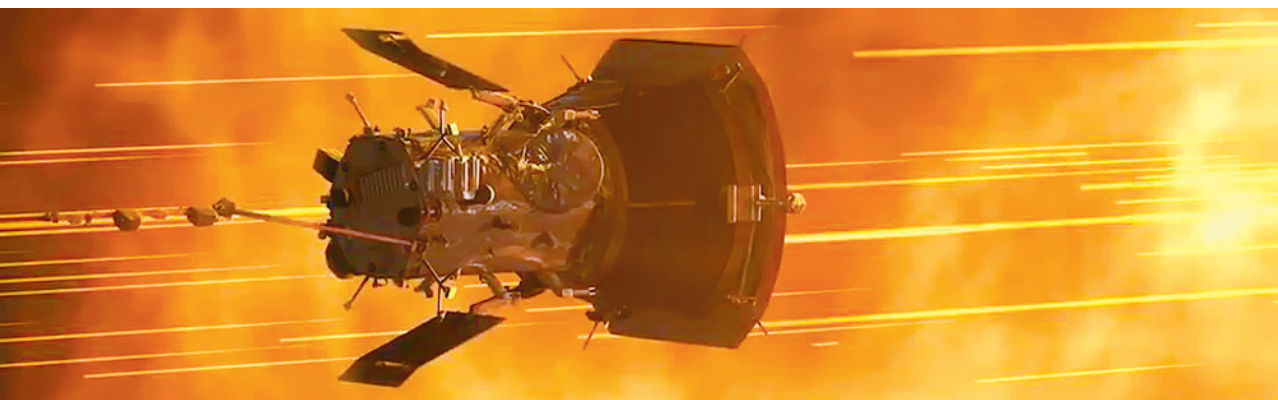
другими в разных вспышках? Ясно, что не только структура магнитного поля активной области (а точнее, его топология) определяет характер вспышки. Так медленная эволюция магнитного поля до вспышки влияет на способ накопления энергии в активной области. Поэтому в целом, чтобы ответить на поставленный вопрос в конкретном событии, следует проанализировать не только распределение фотосферных

магнитных полей (с целью реконструировать топологию коронального поля), но и их эволюцию в течение достаточно длительного времени до вспышки.

Литература

- Somov B.V. Plasma Astrophysics, Part I, Fundamental and Practice, Second Edition. New York: Springer, 2013.
Somov B.V. Plasma Astrophysics, Part II, Reconnection and Flares, Second Edition. New York: Springer, 2012.

СОЛНЦЕ ПОД МИКРОСКОПОМ — ПРИРОДА ВСПЫШЕК. МИКРО- И НАНОВСПЫШКИ



БОГАЧЕВ Сергей Александрович,

доктор физико-математических наук

УЛЬЯНОВ Артём Сергеевич,

кандидат физико-математических наук

КИРИЧЕНКО Алексей Сергеевич,

кандидат физико-математических наук

ЛОБОДА Иван Петрович,

кандидат физико-математических наук

РЕВА Антон Александрович,

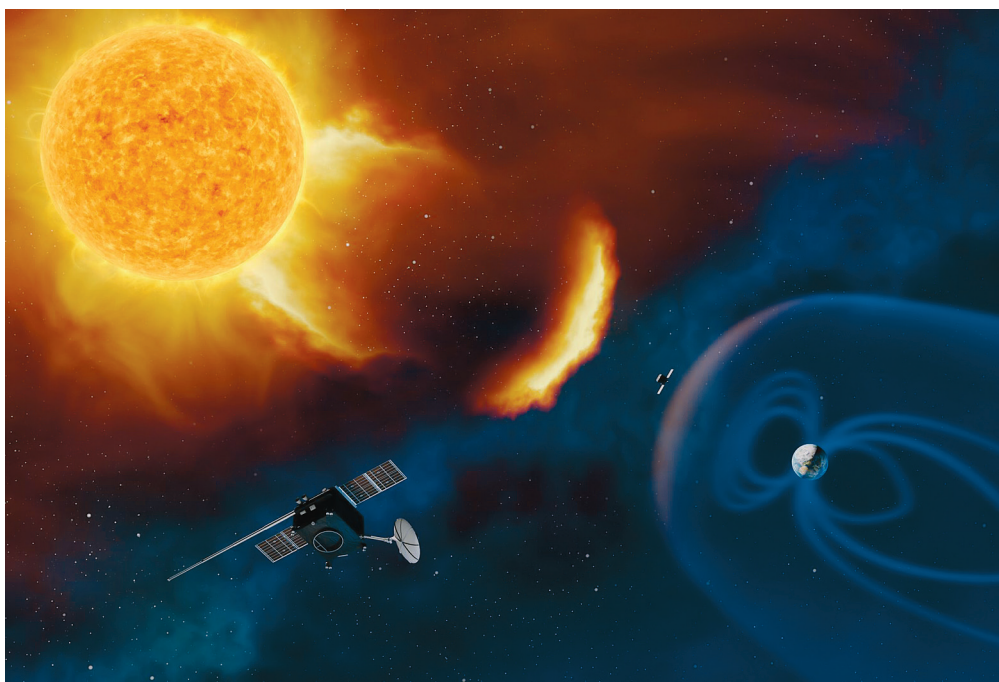
кандидат физико-математических наук

Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН (ФИАН)

DOI: 10.7868/50044394821040022

Все мы живем в объятиях Солнца – ближайшей к нам звезды. Это соседство приносит нам тепло и свет – основу для жизни. В то же время Солнце является источником жесткой радиации, а также энергичных частиц, распространяющихся от него в сторону планет, в том числе в сторону Земли. Особенно много таких частиц и излучений возникает во время солнечных

вспышек. Воздействие этих факторов на живые организмы, в том числе организм человека, имеет исключительно негативные последствия, что лишний раз напоминает нам на какой приспособленной для жизни планете мы живем. Земля защищает нас от жестких солнечных излучений благодаря наличию достаточно плотной атмосферы. Также Земля – единственная из пла-



Художественная иллюстрация влияния Солнца на Землю.

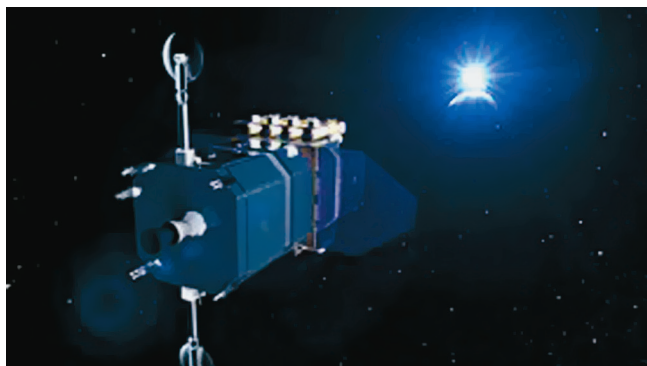
Изображение с сайта Европейского космического агентства <https://www.esa.int>

нет близкого типа (к нему еще относятся Венера и Марс), которая обладает магнитным полем, отклоняющим заряженные частицы, которыми нас «бомбардирует» Солнце. В настоящее время сформирована и развивается новая отрасль знаний, изучающая многочисленные аспекты влияния Солнца на Землю, которая называется *космическая погода*.

Если задаться вопросом, какие события на Солнце в первую очередь должны интересовать ученых, то самый естественный ответ на него – это крупные события, влияющие на Землю и на окружающее космическое пространство. Действительно, не вызывает сомнения, что чем более масштабные процессы происходят на Солнце – например, чем мощнее солнечная вспышка – тем опаснее будут их последствия. И тем пристальнее должны изучать эти события ученые. Если

посмотреть научные публикации, то именно крупные вспышки привлекают к себе наибольшее внимание, изучаются наиболее подробно. Так серия наиболее крупных солнечных вспышек в XXI веке произошла в конце октября – начале ноября 2003 г., а работы по их исследованию все еще продолжаются и публикуются в наши дни, спустя почти 20 лет.

Вместе с тем, если задуматься о таком подходе к изучению Солнца более глубоко, то может возникнуть и иной вопрос. Крупные события могут быть зарегистрированы с помощью самых простых инструментов. Известно, что во время крупных солнечных вспышек за несколько секунд на Солнце выделяется порой энергия, равная потреблению энергии человечеством за несколько миллионов лет. Пропустить такое событие просто невозможно, и той



Новейшая солнечная обсерватория НАСА – SDO. Запущена в 2010 г. Изображение с сайта НАСА <https://www.nasa.gov>

точности солнечных инструментов, которыми человечество располагало, скажем, в семидесятые–восьмидесятые годы прошлого века, то есть 40–50 лет назад, с запасом хватало как для обнаружения, так и для исследования вспышек такой силы. Если так, то можно задуматься, что является движущей силой, заставляющей ученых вводить в строй все более совершенные солнечные инструменты? Особенно это заметно в применении к космическим обсерваториям, являющимся наиболее мощным средством исследования Солнца. Так в восьмидесятых–девяностых годах XX века достаточной считалась точность наблюдения Солнца из космоса с детализацией 5–10 тысяч километров. Такую точность, в частности, имела запущенная в 1980 г. зарубежная обсерватория SMM (Solar Maximum Mission), а также отечественные солнечные телескопы, работавшие на космической станции Фобос-2 в 1988 г. и на спутнике КОРОНАС-И в 1994 г. Уже в конце 90-х – начале 2000-х годов детализация космических наблюдений Солнца была доведена до 2–5 тысяч километров. Такие снимки давали российские и зарубежные телескопы на аппаратах КОРОНАС-Ф (2001) и SOHO (1996). В конце первого

десятилетия XXI века произошел следующий скачок. Точность выросла до 1–1.5 тысяч километров, как в зарубежных (например, аппараты STEREO, запущенные в 2006 г.), так и в российских проектах (спутник КОРОНАС-Фотон, выведенный на орбиту в 2009 г.). И, наконец, в 2010-м в космос была выведена наиболее современная солнечная обсерватория мира, SDO (Solar Dynamics Observatory),

предоставившая изображения Солнца с детализацией около 500 км. Этот спутник все еще работает и продолжает посылать на Землю снимки такой точности в режиме реального времени.

Что хотят увидеть ученые на Солнце (крупнейшем объекте нашей системы, диаметр которого превышает диаметр Земли более чем в 100 раз и составляет около 1.5 миллионов километров) с такой детализацией? Ведь характерные размеры солнечных вспышек составляют сотни тысяч километров, и для их изучения такая точность кажется явно избыточной. Зачем на Солнце наводят телескопы, которые по своему назначению и точности все больше напоминают противоположный инструмент, микроскоп? Давайте попробуем разобраться и заодно понять, куда же движется современная физика Солнца на этом пути и какие задачи она ставит перед собой.

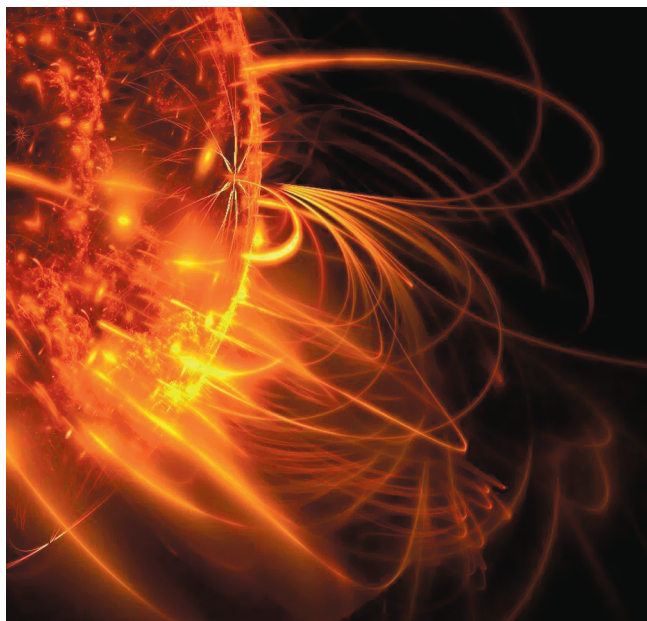
ПРИРОДА СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШЕК

Солнечные вспышки были обнаружены в середине XIX века как незначительный и кратковременный рост светимости

поверхности Солнца на отдельном его участке. Выглядело это так, как будто произошел какой-то быстрый процесс, из-за чего из без того яркое Солнце стало в этом месте на короткое время еще более ярким. Наиболее известным научным сообщением о вспышке стало сообщение английского астронома Ричарда Кэррингтона, который 1 сентября 1859 г. наблюдал и описал необычно яркую вспышку на Солнце, ставшую через два дня причиной наиболее известной геомагнитной бури в новейшей истории – события Кэррингтона. И вспышку, и последовавшую за ней магнитную бурю многие считают крупнейшими в современной истории наблюдений, происходящими не чаще чем раз в несколько сотен лет. Последовавшее за этим полуторавское исследование вспышек привело к достаточно ясному пониманию, что это за события, хотя и почти не приблизило нас к возможности предсказания вспышек. Это не является парадоксом, так как, например, знание, что молния – это электрический разряд, само по себе никак не помогает прогнозировать место и силу предстоящих гроз. Для этого требуется гораздо больше информации. Так и понимание, что такое вспышка, почти никак не помогает в предсказании их предстоящей силы и места формирования. Впрочем, это тема для отдельной статьи. Заметим лишь, чтобы завершить этот вопрос, что в настоящее время возможно оценить вероятность вспышек большой и средней силы примерно на 1–2 дня вперед. Соответственно, если в печати встречаются сообщения: «Ученые ожидают в конце года гигантскую вспышку на Солнце», на них можно не обращать внимания. Максимум, что можно оценить – это что будет на Солнце завтра или послезавтра.

Тем не менее, как было сказано выше, ученые понимают, что та-

кое вспышки. Мы попробуем подтвердить эти слова и проследим, как шла цепочка рассуждений, которая привела к этому пониманию. Начнем с простого утверждения, что вспышка – это «взрыв», то есть выделение энергии. Энергия же, прежде чем выделиться в виде взрыва, должна быть запасена в каком-то виде. В бытовых (если можно так выразиться) взрывах энергия почти всегда является химической. Сами взрывы же представляют собой химическую реакцию – чаще всего ту или иную разновидность реакции окисления. Это же касается и военных взрывчатых веществ, за исключением атомных взрывов, где энергия черпается из внутриядерных источников. Да, на ранних стадиях науки эти источники энергии рассматривались и в применении к Солнцу. Например первые теории, объясняющие его свечение, предполагали, что на Солнце горят залежи угля. Но в наше время, когда спектральный анализ (определение веществ по линиям их излучения) дал точное представление о химическом составе Солнца, стало ясно, что на Солнце нет ни угля, ни каких-либо иных горючих веществ, а состоит оно на 99% из протонов, электронов и ядер гелия с небольшими примесями других элементов. Чуть более сложным является вопрос о ядерных реакциях. Они на Солнце идут, причем именно эти реакции и объясняют природу солнечной светимости. Однако для того, чтобы запустить эти реакции – требуется температура выше 7 миллионов градусов, а также чрезвычайно высокие плотности вещества. В частности, в центре Солнца (где и идут эти реакции), плотность достигает 160 тонн на кубометр, что в 14 раз тяжелее свинца. Таких условий во внешней атмосфере Солнца (где происходят вспышки) нет. Да, внешняя оболочка Солнца раскалена по земным меркам до огромных



Солнечные магнитные поля. Структура из магнитных петель над поверхностью Солнца. Изображение с сайта космической обсерватории SDO <https://sdo.gsfc.nasa.gov>

температур, около 1 миллиона градусов, но их все же недостаточно. Особенно плохо дело обстоит с плотностью газа. Внешняя атмосфера Солнца состоит из газов, плотность которых в миллиард раз ниже плотности воздуха у поверхности Земли. Ни о каких ядерных реакциях, охватывающих крупные массы вещества, в таких условиях не может быть и речи.

Возникает разумный вопрос. Если на Солнце в его атмосфере нет сложных химических веществ, нет достаточных плотностей и достаточно высоких температур, то что там вообще есть? Что же может взрываться? Наблюдения дают ответ на этот вопрос. На Солнце есть магнитные поля. Поля сильные, порой в тысячи раз сильнее земного, охватывающие все Солнце, от глубины до высот в сотни тысяч километров, а главное, поля очень сложной структуры и способные очень быстро меняться.

Солнце – это, без преувеличения, магнитная звезда. Попробуем понять, что из этого следует.

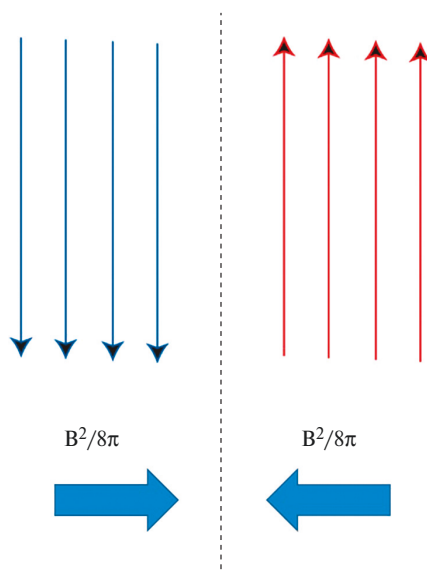
На первый взгляд, не следует из этого почти ничего. Действительно, какую энергию можно извлечь из магнитного поля? Казалось бы, сколько ни тряс магнит, никакого взрыва или хотя бы тепла из него не получишь. Наверное, магнитное поле обладает какой-то энергией, но как ее извлечь? Поиск ответа на этот вопрос и приводит нас к пониманию, что же такое вспышка. Прежде всего да, магнитное поле обладает энергией, причем вполне определенной и измеряемой. Если выразить силу магнитного

поля буквой B , то в каждой единице объема, занятой этим полем, появится дополнительная энергия, равная $B^2 / 8\pi$, где π – всем известное число ($\pi \approx 3.14$). В солнечной короне магнитные поля могут достигать величин 10–100 Гс (Гаусс – единица измерения поля, используемая в физике). Для сравнения: магнитное поле Земли составляет около 1 Гс. Таким образом, в каждом кубическом сантиметре солнечной короны магнитное поле «хранит» энергию, равную 10^{-5} Дж. На первый взгляд совершенно ничтожная величина, но, напомним, это энергия в 1 кубическом сантиметре. Умножим ее на характерные размеры областей короны, охватываемые вспышками – порядка 100 тысяч км (огромная по земным меркам величина, которая, однако, весьма скромна по сравнению с размерами Солнца – 1.4 миллиона км). Объем вспышеч-

ной области составляет, таким образом, 10^{15} км³ или 10^{30} кубических сантиметров. Умножая его на энергию поля, содержащуюся в каждом кубике, мы получим уже совсем не смешную величину – 10^{25} Дж. Для сравнения: крупнейшая в России Саяно-Шушенская ГЭС вырабатывает в год порядка 10^{17} Дж энергии, то есть в 100 миллионов раз меньше. Но мы все же сравниваем энергию магнитного поля не с земными ГЭС, пусть и крупнейшими, а со вспышками на Солнце. Во время сильных вспышек на Солнце выделяется порядка 10^{32} эрг энергии. Так как один эрг равен 10^{-7} Дж, то это составляет 10^{25} Дж энергии. То есть ровно ту величину, которую мы получили выше. Удивительное совпадение, которое, безусловно, наводит на мысль, что мы на правильном пути.

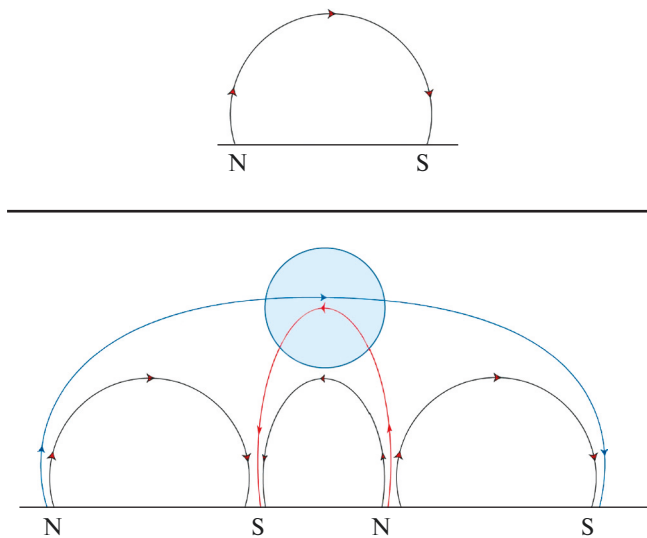
Но все же, хорошо, пусть магнитное поле Солнца обладает нужными запасами энергии, но как все-таки ее извлечь? Условно, как заставить солнечные магниты «взорваться»? С земными же, как известно, такой трюк не проходит. Ответ на вопрос, как Солнце отдает свою энергию, на самом деле очень прост и может быть пояснен одним рисунком, показанным здесь. Итак, рассмотрим две области с магнитным полем одной величины, B , но разного направления. На рисунке одно поле направлено вверх, другое вниз. Каждая из областей с полем имеет энергию, которая может быть определена по той же самой формуле $B^2 / 8\pi$. Так как значения поля и размеры областей равны, то равны и эти энергии. Общая энергия области равна их удвоенному значению. Теперь представим, что некой могучей рукой или просто двигая источники поля – магниты, мы задвинули один поток внутрь другого. Что при этом будет с полем? По простым геометрическим соображениям, направленные вверх векторы

поля должны «уничтожить» векторы, направленные вниз, и поле обратится в ноль. Это понятно, однако неясно, куда при этом девается энергия поля. Не может же она исчезнуть вместе с полем – это было бы нарушением наиболее фундаментального закона, управляющего нашим миром – закона сохранения энергии. Значит, энергия не исчезает, а должна высвобождаться. Превратиться в иные формы – тепло, излучение. Произойдет вспышка.



Схематическое изображение взаимодействия потоков магнитного поля разного направления

Пытаться повторить этот опыт в земных бытовых условиях не стоит. Выделяемые при этом энергии слишком ничтожны, чтобы их можно было заметить. Однако что касается Солнца с его гигантскими размерами, то приведенной выше информации вполне достаточно, чтобы описать, как происходят вспышки на нем. Рассмотрим две ситуации, приведенные на рисунке ниже. В первом случае (сверху)



Схематическое изображение взаимодействия магнитных полей в короне Солнца. Сверху – конфигурация с двумя источниками поля. Снизу – с четырьмя

под поверхностью Солнца расположены два источника поля разной полярности (мы обозначаем их буквами N – северный и S – южный), а в другом (снизу) – таких источников четыре. На реальном Солнце такими условными источниками являются солнечные пятна, представляющие собой места наиболее сильной концентрации поля до величин в несколько тысяч Гауссов. На изображении сверху, с двумя источниками, отсутствуют области, в которых встречаются противоположно направленные векторы магнитного поля. А выше мы разбирали, что только в таком случае поле может начать выделять энергию. Это означает, что сколь сильным не было бы значение магнитного поля в этой области, вспышка здесь невозможна. По этой причине на Солнце почти не бывает вспышек вблизи одиночных солнечных пятен или около систем из двух пятен. Совсем иная ситуация показана на

рисунке снизу. Видно, что при таком расположении источников поля в атмосфере Солнца над пятнами не просто может, а неизбежно возникает область, где встречаются противоположно ориентированные магнитные поля. Здесь может произойти вспышка. К слову, анализ конфигураций солнечных пятен и является одним из способов прогноза вероятности вспышки. Если конфигурация усложнилась таким образом, что в ней появляются встречные магнитные поля, вероятность вспышки заметно повышается. И наоборот, при упрощении конфигурации вероятность снижается, порой до нуля.

Вместе с тем до сих пор из текста непонятно, какое отношение все это имеет к исследованию Солнца с малым масштабом. Пришла пора объяснить. Все написанное выше имело цель показать, что, хотя вспышки на Солнце и являются гигантскими образованиями, непосредственно выделение их энергии происходит в очень компактных областях, где соприкасаются линии магнитного поля противоположного направления. Научный анализ таких конфигураций показывает, что размеры этих областей еще меньше, чем можно представить – десятки сантиметров, в крайнем случае метры. В научной литературе, чтобы подчеркнуть малый размер этих областей, их часто называют «особыми точками». Конечно, точностей в метры при наблюдении Солнца достичь невозможно. Однако уже при наблюдениях с точностью лучше 100 км качество наблюдения короны Солнца должно достигнуть такого

уровня, что позволит уверенно определять наличие и положение особых точек на Солнце даже без необходимости их прямого наблюдения. Именно это, попытка проникнуть в тонкую структуру магнитных конфигураций с целью резкого повышения точности прогноза вспышек, и является одной из главных мотиваций к росту пространственного разрешения современных солнечных телескопов. Одной из главных, но не единственной. Поговорим в этой связи о других.

МАЛЫЕ ВСПЫШКИ И ВОЛНЫ В КОРОНЕ СОЛНЦА

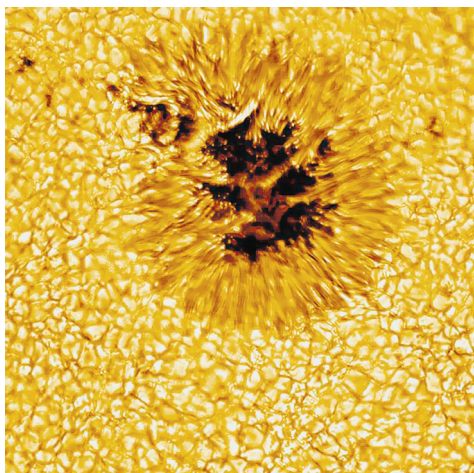
Если посмотреть официальный список задач всех современных солнечных миссий, то почти наверняка сквозной нитью через них проходят два вопроса. Определение механизма нагрева солнечной короны и определение механизма ускорения солнечного ветра. О чем идет речь и при чем тут малые масштабы?

Солнечная корона – это самая внешняя оболочка атмосферы Солнца, которая начинается в нескольких тысячах километров над его видимой поверхностью, а заканчивается далеко за границей солнечной системы, там, где она останавливается межзвездной средой. Вблизи поверхности Солнца корона статична, однако уже на расстоянии нескольких солнечных радиусов начинается радиальное движение короны, которое быстро достигает скоростей в несколько сот километров в секунду. Эти движущиеся потоки вещества называют солнечным ветром.

Основной загадкой короны является ее высокая температура – до двух миллионов градусов. Это существенно больше, чем температура видимой поверхности Солнца, равная 6000 градусов. Получается так, что «холодная» поверхность Солнца нагревает окружающую ее атмосферу до миллионов градусов. Несомненно, что само по себе тепло так не течет (оно всегда движется наоборот – от горячего к холодному), и такая ситуация требует объяснения. О том, насколько это необычно, можно судить по тому, как много времени потребовалось человечеству, чтобы понять, чему равна температура короны Солнца. Еще во второй половине XIX века корона наблюдалась во время затмений и в ней обнаруживались необычные линии излучения, которые не могут существовать при низких температурах плазмы. Чтобы объяснить эти линии, создавались теории о том, что они излучаются особым химическим элементом, коронием, отсутствующим на Земле. То есть ученым было проще поверить в существование несуществующего элемента, чем в то, что холодная поверхность Солнца способна создать вокруг себя среду с температурой в сотни раз большей, чем температура видимой поверхности. Поверить в это пришлось лишь в 50-е годы XX века, когда

Корона Солнца во время солнечного затмения.
Изображение с сайта NASA <https://www.nasa.gov>





Солнечное пятно и грануляция солнечной поверхности. Грануляция является результатом кипения солнечной поверхности. Изображение с сайта НАСА <https://www.nasa.gov>

такие же линии излучения были найдены в спектрах так называемых новых звезд – взрывающихся объектах с очень высокой температурой. Тем не менее, хотя сам факт высокой температуры солнечной короны после этого был доказан, вопрос, как же она образуется, решен тогда не был, и не решен он в полной мере до сих пор.

И здесь мы постепенно подходим к основной причине интереса к солнечному микромиру. Чтобы нагреть корону, нужна энергия. И не просто энергия, а достаточное количество энергии, причем поступающее с высоким темпом. Дело в том, что корона Солнца, если предоставить ее самой себе, остывает всего за несколько часов. Таких источников энергии на Солнце нет. Или правильнее говорить, их не видно. Да, на Солнце происходят вспышки, порой очень крупные. Но они происходят редко, и если просуммировать их общую энергию, то ее оказывается недостаточно. Есть и иная проблема. Число вспышек на Солнце циклически изме-

няется с шагом 11 лет. В минимумах этого цикла на Солнце на несколько лет порой вообще прекращаются вспышки. Соответственно, темп выделения энергии в них падает до нуля. Корона же Солнца в этот период не остывает, а продолжает существовать с той же температурой.

Для разгадки этой проблемы было сформулировано две гипотезы, одну из которых можно назвать волновой, а вторую – гипотезой малых вспышек. Кратко скажем про обе. В волновой гипотезе, как и можно ожидать, корона греется волнами. Сразу скажем, что волн на Солнце огромное количество, так как поверхность Солнца, говоря простыми словами, «кипит». Это действительно самое обычное кипение, а в кавычки слово взято лишь потому, что это кипение не жидкости, а газа. В обычной жизни все мы знаем звук кипения воды, и сам факт звука означает, что при кипении возникают звуковые волны. Такие же звуковые волны возникают в солнечной атмосфере и при кипении поверхности Солнца.

По своей природе эти волны – колебания солнечного газа, распространяющиеся во все стороны и переносящие энергию. Однако проблема в том, что для нагрева короны энергию мало переносить. Ее надо отдавать. Таким образом, хотя наличие волнового переноса энергии не вызывает сомнений, надо ответить на вопрос, как же эта энергия переходит в тепло. И здесь возникает много трудностей. Дело в том, что корона Солнца слишком уж идеальна для волн. Они легко распространяются в ней и затухают (а значит, отдают свою энергию) крайне неохотно. Ученые придумывают огромное количество механизмов, как же заставить эти волны отдавать энергию. Но пока получается не очень. Наиболее перспективным кажется представление, что звуковые волны от кипения Солнца на своем пути пре-

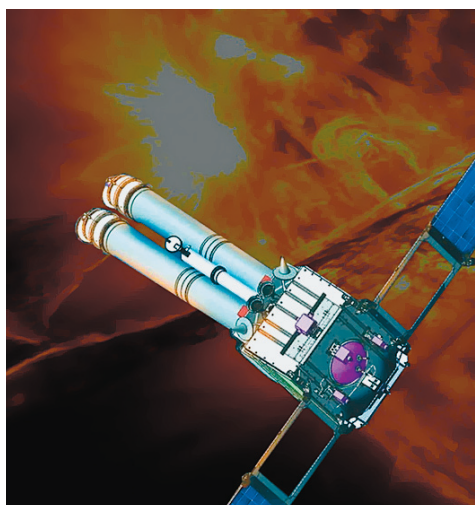
вращаются в иные, например, альвеновские волны. Это странное название означает также волны, похожие на звук, но появляющиеся только в средах с магнитным полем. Их природа похожа на колебания струн. Если линию магнитного поля исказить (как оттянуть часть струны), а потом отпустить, то по ней побежит волна. Соответственно, звуковые волны могут своими возмущениями играть на этих магнитных струнах, а от них уже бегут волны другого типа – альвеновские. Эта теория также неплоха, однако натывается уже на экспериментальные проблемы. Дело в том, что несмотря на весь рост точности наблюдений, альвеновские волны на Солнце до сих пор никому обнаружить не удалось. Периодически в печати возникают сообщения об очередном таком открытии, но каждый раз это оказывается неточностью – как правило, за альвеновские волны принимают обычный звук. В 2018 г. в США к Солнцу запустили даже специальный зонд – «Зонд Паркер» стоимостью 1.5 миллиарда долларов. Он должен пролететь на расстоянии всего 7 миллионов километров от Солнца (для сравнения, расстояние между Солнцем и Землей составляет 150 миллионов километров) и попытаться не увидеть издалека, а прямо измерить эти неуловимые волны. У зонда трудная орбита – к Солнцу он будет приближаться несколько лет. Пожелаем же ему успеха. Ну и конечно, отметим, что поиск этих волн является одной из мотиваций для роста точности наблюдений Солнца, так как зонд, даже если совершит эти ожидаемые открытия, не сможет заменить собой непрерывные наблюдения Солнца. Это могут сделать только телескопы.



Зонд Parker Solar Probe, запущенный в 2018 г. Художественная иллюстрация. Изображение с сайта НАСА <https://www.nasa.gov>

Что же касается второй теории – нагрева короны, микро- и нановспышек, то суть этих явления следует из их названий. Это вспышки с силой примерно одна миллионная и одна миллиардная от силы обычной вспышки. Даже эти энергии огромны. Так, одна средняя солнечная нановспышка способна обеспечить Землю энергией на целый год. Но по меркам Солнца – это крохотные события. Зачем же изучать этих солнечных «микробов»? Главным образом потому, что их может быть много. Так, одно насекомое в джунглях весит много меньше слона, но полный вес насекомых в ареале может быть в сотни и тысячи раз больше веса всех крупных животных. Так и микро- и нановспышки. Будучи скрыты от глаза, они, тем не менее, способны в сумме содержать до 90, а может быть, и до 99% энергии солнечной активности.

Солнечные микро- и нановспышки все же не скрыты от глаз. Они были обнаружены еще в 1970–1980-х по наблюдениям небольших быстрых импульсов на записях рентгеновского излучения Солнца. И в этом их огромное преимущество перед альвеновскими волнами. Они видны. Но, конечно, самого факта видимости мало. Если вы развиваете теорию, что полная масса муравьев



Космическая обсерватория АРКА (Россия).
Должна впервые увидеть корону Солнца
с детализацией лучше 100 км

в лесу больше массы слона, то для доказательства теории вам мало показать, что в лесу вообще обитают муравьи. Вам надо все же их посчитать. И здесь возникают проблемы. Современным телескопам все еще не хватает точности, причем не только в детальности наблюдений, но и в детализации по времени. Малые вспышки очень короткие. Они могут длиться всего секунды. И если вы делаете фотографии Солнца с шагом в минуты (на самом деле – очень высокий темп), то вы просто будете пропускать большинство этих событий. Поэтому требуются не только точные, но и очень быстро работающие телескопы. Именно в сторону создания таких инструментов и пытается двигаться физика Солнца.

В целом мы живем в очень интересное время, так как видно, что возможности солнечных инструментов подошли сейчас к той границе, за которой, как нам кажется, вот-вот должны найтись разгадки солнечных тайн, занимавших умы ученых десятилетиями.

Перейти эту границу астрономы пытаются разными способами. В США, как уже говорилось, к Солнцу запущен зонд, который, как надеются, сможет зарегистрировать солнечные волны прямо вблизи нашей звезды. Также учеными НАСА (космическое агентство США) в космос выведена солнечная обсерватория с названием SDO, которая снимает Солнце с шагом 12 секунд. Это очень большой прогресс, хотя он пока и не позволил существенно расширить знания про нановспышки и альвеновские волны. Европейское агентство запустило в 2020 г. к Солнцу свой аппарат Solar Orbiter, который подлетит к нашему светилу на расстояние равное $1/3$ от расстояния между Солнцем и Землей. Да, это не так близко, как зонд Паркер, но зато эта обсерватория оснащена гораздо более обширным набором научной аппаратуры. Свои проекты такого рода есть и у России. Это проект «Интергелиозонд» – спутник, который, как и Solar Orbiter, должен выйти на похожую орбиту вокруг Солнца. И это обсерватория «АРКА», разрабатываемая по принципу телескопа-лупы, которая будет наблюдать фрагмент солнечной поверхности, примерно $1/10$ от общей площади видимого солнечного диска, но зато с не достижимым ранее разрешением – лучше 100 км на один пиксель изображения. Хочется верить, что при такой точности ни одна нановспышка не сможет скрыться от глаз прибора. Также за порогом в сотни километров, как считается, прячутся и солнечные альвеновские волны.

Остается лишь пожелать успеха всем этим миссиям и в первую очередь российским, которые реализуются в особенно непростых условиях. И конечно, будем ждать сообщений о том, что вековые тайны Солнца наконец-то разгаданы. Есть надежда, что эти сообщения будут сделаны нашими учеными.

С новыми книгами
Издательства “Наука”
вы можете ознакомиться на сайте
naukabooks.ru



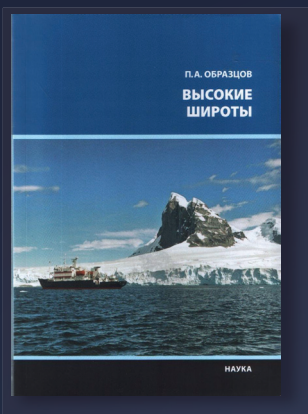
Капанадзе А.Л.

**Опытным путем:
Эксперименты, изменившие мир.**

М.: Наука, 2019. – 319 с.

В книге рассказывается об основных вехах в развитии экспериментальных методов в самых разных областях наук о природе, человеке и обществе – физике, химии, астрономии, биологии, физиологии, медицине, археологии, социологии, психологии, экономике. Охвачен период с античных времен до наших дней. Читатель узнает о знаменитых и малоизвестных опытах, оказавших огромное влияние на формирование наших представлений о мире и о нас самих. Большое внимание автор уделяет не только истории приборов и технологий, но и истории идей. Затрагиваются проблемы отличия классического эксперимента от наблюдения (когда опыт «ставит» сама природа), преемственности технических инноваций, влияния общественного климата на работу экспериментатора, роли случайности в этой работе.

Для широкого круга читателей.



Образцов П.А.

Высокие широты.

М.: Наука, 2018. – 192 с. – (Научно-популярная литература)

Книга повествует об открытии и освоении Арктики и Антарктики, этих двух полюсов холода и мужества, об отважных героях, благодаря которым человечество узнало о природе, животном мире самых северных и самых южных земель, а также о том, какая непростая и вместе с тем увлекательная жизнь идет сегодня в этих суровых, таинственных и манящих краях.

Для широкого круга читателей.



Верещагин Г.В., Аксенов А.Г.

Релятивистская кинетическая теория с приложениями в астрофизике и космологии.

М.: Наука, 2018. — 471 с.

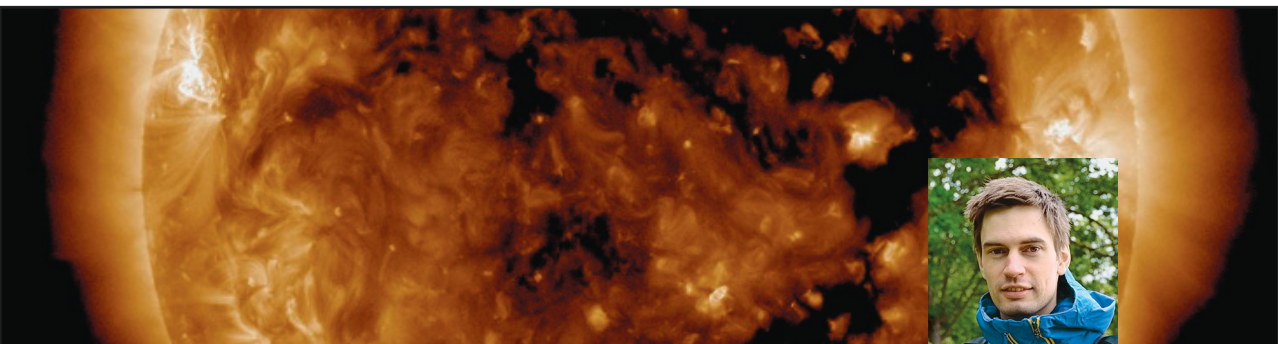
Релятивистская кинетика широко применяется в астрофизике и космологии. В последние годы интерес к этой теории вырос, поскольку появилась возможность ставить эксперименты при таких условиях, где релятивистские эффекты становятся существенными. Настоящая монография состоит из трех частей. В первой части представлены основные идеи и концепции, уравнения и методы теории, включая вывод кинетических уравнений из релятивистской цепочки Боголюбова, а также соотношение кинетического и гидродинамического описаний. Вторая часть — это введение в вычислительную физику, причем особое внимание уделяется численному интегрированию уравнений Больцмана и смежным вопросам, а также многокомпонентной гидродинамике. В третьей части дан обзор приложений, который охватывает вопросы ковариантной теории отклика, термализации плазмы, комптонизации в статических и динамических средах, кинетики самогравитирующих систем, образования структуры в космологии и излучения нейтрино при гравитационном коллапсе.

Для студентов старших курсов университетов, аспирантов и исследователей, специализирующихся в области теоретической физики, астрофизики и космологии.

naukabooks.ru

Реклама

КАК МАШИННОЕ ОБУЧЕНИЕ ПОМОГАЕТ ИЗУЧАТЬ СОЛНЦЕ



ИЛЛАРИОНОВ Егор Александрович,

к.ф.-м.н., Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова,
Московский центр фундаментальной и прикладной математики

САДЫКОВ Вячеслав Маратович,

к.ф.-м.н., Университет штата Джорджия, США

DOI: 10.7868/50044394821040034



Ключевые на сегодня открытия в физике Солнца, например, обнаружение 11-летнего закона цикличности, открытие магнитного цикла, первое наблюдение солнечной короны и ее необычных свойств, были сделаны задолго до появления современных компьютеров. Это был результат гениальной изобретательности в конструировании новых наблюдательных приборов и многолетнего упорства в ведении каталогов наблюдений. Современной науке пока с трудом удается выстраивать теории, описывающие наблюдаемую картину, а многие вопросы продолжают оставаться загадками. Едва ли стоит рассчитывать, что компьютеры смогут за нас вывести законы эволюции солнечной активности, но кое в чем они действительно могут помочь. Прежде всего мы рассчитываем на их способность к неустанному перебору бесчисленных вариантов и выявлению сложных взаимосвязей среди разнородных многомерных массивов данных. Разумеется, здесь необходимы специальные алгоритмы. Часть таких алгоритмов, объединенных термином “машинное обучение”, развивается особенно активно и находит все больше применений в современной практике. В нашей статье мы на нескольких примерах покажем, как машинное обучение помогает в решении задач исследования Солнца и в чем особенность этого подхода. Первый пример проиллюстрирует применение сверточных нейронных сетей, второй покажет, как используется модель кластерного анализа в обработке солнечных данных. Также мы расскажем, как с помощью алгоритма бинарной классификации построить прогноз энергичных событий на Солнце.

ЧТО ТАКОЕ МАШИННОЕ ОБУЧЕНИЕ

Машинное обучение – это определенный класс компьютерных алгоритмов. Как и все алгоритмы, они представляют

собой свод последовательных правил или команд. Особенность алгоритмов машинного обучения в том, как именно формулируются решающие правила. Разберемся на примере.

Попробуем составить алгоритм, который будет отличать слона от жирафа на фотографии. Для компьютера фотография – это упорядоченный набор чисел (числовая матрица или массив). Можно предположить, что с точки зрения числовой матрицы пикселей изображения слона определяют прежде всего размер и цвет. Пусть алгоритм дает ответ «слон», если больше трети пикселей на фотографии серые (для простоты будем изучать слонов серого цвета, хотя бывают и бурые). Алгоритм, наверно, будет работать хорошо, пока ему не попадет фотография жирафа на сером фоне. Добавляя уточняющие правила, очень скоро мы выясним, что идентифицировать слона правильно на всех фотографиях по-прежнему не получается, а сформулировать в явном математическом виде следующее уточняющее правило уже совсем непросто. В таких ситуациях и может помочь машинное обучение.

Предположим, у нас есть большой запас фотографий жирафов и слонов. Тогда в пространстве всех изображений мы получим два набора точек, одни соответствуют слонам, другие – жирафам. Теперь можно сформулировать следующую математическую задачу – разделить точки (провести поверхность) так, чтобы по обе стороны оказались точки преимущественно одного класса (например, как на рис. 1). Новые фотографии будем классифицировать в зависимости от того, в какую половину они попадут.

Следует сказать, что выбор оптимального разделения является трудной математической и вычислительной задачей. Во многом поэтому успехи в машинном обучении начали появляться только с развитием компьютерных мощностей. Заметим также, что построенная разделяющая поверхность уже вряд ли будет отвечать признаку «больше трети пикселей серые» и вряд ли вообще ее получится описать подобной компактной формулировкой. Впрочем, этому не стоит

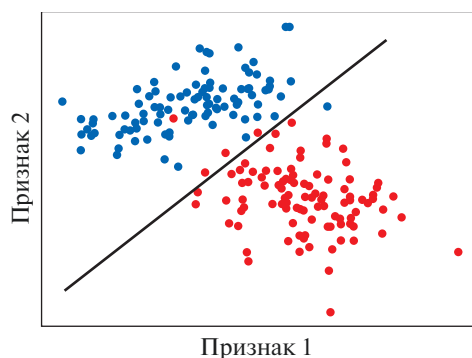


Рис. 1. Пример поверхности (черная линия), разделяющей два класса объектов (синие и оранжевые точки)

удивляться – такова особенность большинства реальных объектов!

Приведенную выше модель принято относить к моделям обучения с учителем. «Учителем» выступают объекты с известным классом, относительно которых происходит оптимизация.

Другим типом моделей являются модели обучения без учителя и так называемое обучение с подкреплением. К первым, например, относятся алгоритмы кластеризации, и один из них мы рассмотрим в нашей статье. Вторые пока меньше используются для решения задач солнечной физики, однако находят применение в других областях. Примером может служить программа, которая обучается игре в шахматы, играя с другими соперниками или даже сама с собой¹.

МАШИННОЕ ОБУЧЕНИЕ И ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ НАУКА

В сухом остатке применение методов машинного обучения сводится к выполнению вычислений по определенному алгоритму. Как всякий алгоритм,

¹ См., например: *Silver D. et al. Mastering Chess and Shogi by Self-Play with a General Reinforcement Learning Algorithm*, 2017, arxiv:1712.01815

он может делать только то, что в нем предписано. И больше, к сожалению (или к счастью?), ничего. В чем тогда интерес к подобным алгоритмам со стороны фундаментальной науки, например, физики Солнца?

Разбирая пример классификации изображений, мы отмечали, что в классическом подходе трудно сформулировать явное математическое описание объекта. В науке дело обстоит еще сложнее, поскольку изучаемые объекты значительно более многоплановые, да и знаем мы про них гораздо меньше. Во многом подобное положение дел компенсируется объемом наблюдательных данных, а они действительно впечатляют. Например, один только спутник *Solar Dynamics Observatory* (SDO, «Обсерватория Солнечной динамики») формирует и отправляет на Землю снимки Солнца высокого разрешения каждую секунду! Едва ли у кого хватит времени вручную обработать хотя бы долю процента от накопленных изображений. Но чем больше данных, тем лучше для модели машинного обучения. Мы, конечно, отмечали, что не стоит рассчитывать обнаружить простую интерпретацию алгоритма, построенного методом машинного обучения, но это не значит, что нет смысла ее искать. Анализ тех признаков, которые учитывались компьютером при построении модели, может помочь выявить новые взаимосвязи в данных, а это как раз то, что прежде всего интересует науку!

На рис. 2 показан рост числа публикаций на тему приложения методов машинного обучения, наглядно подтверждающий востребованность подобных исследований.

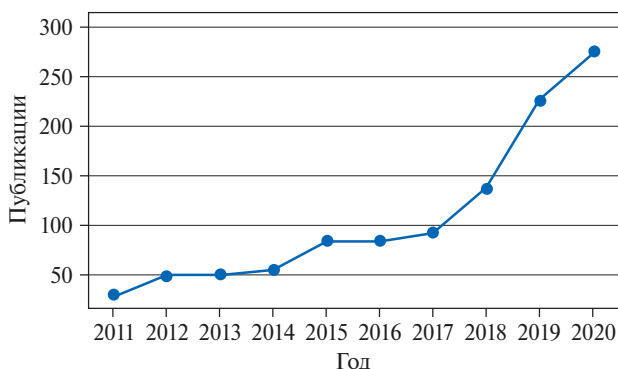


Рис. 2. Число публикаций по теме машинное обучение и солнечная физика. По данным сайта <https://www.dimensions.ai/>

ЧТО МОЖНО УВИДЕТЬ НА СОЛНЕЧНОМ ДИСКЕ

Важнейшим источником знаний о Солнце являются изображения солнечного диска. Используя специальные узкополосные фильтры, дающие изображение в определенном диапазоне длин волн, и в особенности наблюдая в ультрафиолетовом диапазоне из космоса, мы открываем удивительное разнообразие проявлений солнечной активности: волокна, флоккулы, корональные дыры, солнечные вспышки и многое другое. Детектирование и мониторинг подобных объектов являются первостепенными задачами для понимания общего уровня солнечной активности и прогнозирования космической погоды. Например, на сайте <https://observethesun.com/> можно посмотреть текущую карту солнечной активности и проследить ее эволюцию за более чем 100-летний период.

Иногда нам достаточно знать лишь примерное положение и размеры активных образований. Однако в ряде случаев требуется более высокая детализация и необходимо очертить границы каждого объекта. Подобная задача

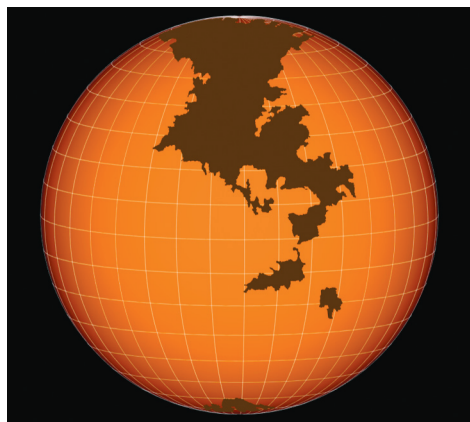
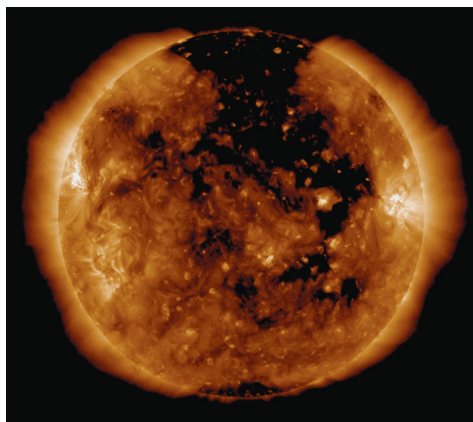


Рис. 3. Диск Солнца в линии 193 ангстрем, данные сайта <http://suntoday.lmsal.com/> (слева) и карта корональных дыр из каталога Кисловодской горной астрономической станции, данные сайта <https://observethesun.com/> (справа)

называется сегментацией: для каждого пикселя необходимо решить, принадлежит он активной области или нет. Опытный астроном-наблюдатель обычно легко справляется с данной задачей, однако встает вопрос скорости обработки данных. Как мы упоминали, спутник SDO производит снимки каждую секунду, за ним никак не поспеть! Необходимо разработать алгоритмический подход, сравнимый по качеству с работой эксперта.

Возьмем для примера задачу сегментации корональных дыр – темных структур, хорошо заметных в ультрафиолетовом спектре (например, в фильтре 193 ангстрем). Следуя названию, данные области представляют собой участки открытого магнитного поля и пониженной плотности плазмы в солнечной короне (своеобразные «дыры»), через которые легко прорывается быстрый солнечный ветер (исходящие от Солнца быстрые потоки заряженных частиц). Геомагнитные бури и связанные с ними события являются прямым следствием воздействия солнечного ветра на магнитосферу Земли.

Обучающим набором данных для задачи сегментации являются пары из

изображения солнечного диска в ультрафиолете и бинарной карты (матрицы из 0 и 1), сформированной астрономами-наблюдателями и отмечающей области корональных дыр. Пример такой пары показан на рис. 3.

В качестве модели сегментации мы выберем сверточную нейронную сеть. Сегодня это стандартный подход, когда речь идет об интерпретации изображений методами машинного обучения.

ЧТО ТАКОЕ НЕЙРОННАЯ СЕТЬ И КАК ЕЕ УЧИТЬ

Простейшая нейронная сеть – это один нейрон. Отдельный нейрон удобно представить как функцию от нескольких входных параметров (вход) и возвращающую одно значение (выход). Внутри функции происходит очень простая операция – все входы суммируются с некоторыми коэффициентами (весами), результат сдвигается еще на некоторую величину и подается на выход. Схема работы нейрона представлена на рис. 4.

Дальше выходы одних нейронов можно подавать на входы другим и

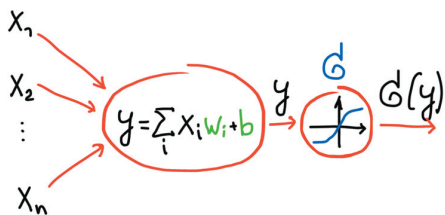


Рис. 4. Схематическое устройство нейрона. Входы $x_1, x_2, \dots, x_n$ суммируются с весами $w_1, w_2, \dots, w_n$ и сдвигаются на величину b . К полученному результату y применяется функция активации s и значение $s(y)$ подается на выход. Зеленым цветом показаны обучаемые параметры

таким образом формировать нейронную сеть. Однако такая модель будет мало отличаться от обычной линейной регрессии. Существенно новые возможности получатся, если выход нейрона преобразовывать какой-нибудь нелинейной функцией (функцией активации, например, гиперболический тангенс). Именно благодаря наличию нелинейности в связях получают модели, которые могут хорошо аппроксимировать самые сложные зависимости. Осталось лишь подобрать удачную архитектуру сети, т. е. порядок связей

между нейронами, и подходящие весовые коэффициенты.

Во многих задачах сегментации стандартной архитектурой нейронной сети является сверточная модель типа U-Net, схематично представленная на рис. 5. Нейроны в данной модели выстраиваются слоями, и каждый слой выполняет операцию, которая называется сверткой. При переходе от входного изображения (Input) к более глубокому слою через операции свертки (Convolutions) и сжатия пространственных размеров (Downsampling) происходит выделение наиболее содержательной информации об изображении (конечно, это не следует понимать буквально). Затем через новые операции свертки и разжатия (Upsampling) происходит трансформация извлеченной информации в образ итоговой бинарной карты (Output). Дополнительные связи (Skip-connection) помогают избежать излишней потери информации на этапах трансформации изображения.

Чтобы все заработало так, как описано, необходимо подобрать подходящие весовые коэффициенты. Это происходит на этапе обучения. На вход модели

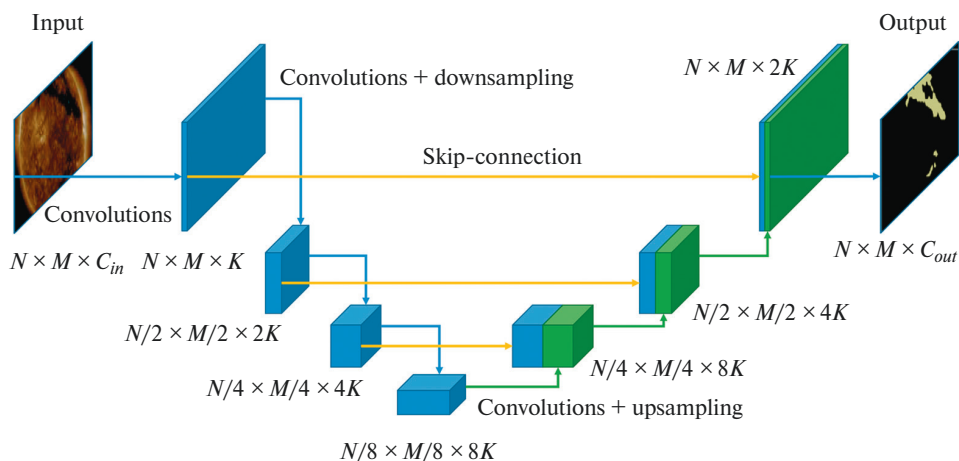


Рис. 5. Схематическое представление нейронной сети типа U-Net

Источник: Illarionov E. et al. (2020), *ApJ*, 903, 2. Буквами N, M обозначены пространственные размеры изображения, C и K отвечают глубине изображения (количество каналов)

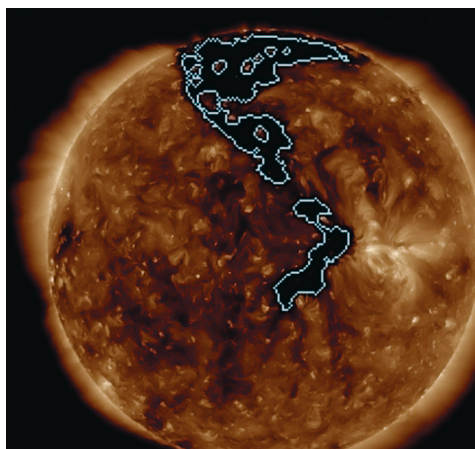


Рис. 6. Сегментация моделью нейронной сети (слева) и обработка наблюдателями Кисловодской горной астрономической станции (справа). 12 августа 2018 г.

подается изображение солнечного диска, выход сравнивается с «правильной» бинарной маской, и вычисляется несогласие между ними. Затем веса модели сдвигаются так, чтобы уменьшить данное несогласие. Итерации повторяются до тех пор, пока ошибка модели не станет достаточно малой и перестанет значимо изменяться.

Для оценки качества обученной нейронной сети возьмем изображение, которое модель не видела в процессе обучения. На рис. 6 показаны примеры обработки, выполняемой Кисловодской станцией, и работы модели. Результаты практически неотличимы! При этом модель не устает, не теряет внимание и тратит на один снимок лишь долю секунды. Теперь рутинную обработку архивов можно порекомендовать алгоритмам, а самим переключиться на следующие научные задачи!

КАК ПРЕДСТАВИТЬ МНОГОМЕРНОЕ ПРОСТРАНСТВО

Наблюдательные данные – основной источник знаний о солнечной активности. Астрофизики постоянно обра-

щаются к современным и архивным каталогам в попытке выявить новые или прояснить известные закономерности и взаимосвязи. Одномерные или двумерные временные ряды удобно представить как точки на плоскости и рассматривать получившуюся картинку визуально. Классическим примером служат ряды наблюдений солнечных пятен. Если в координатах «широта–время» отметить все положения пятен (или групп пятен) за несколько десятков лет, то обнаружатся характерные структуры в виде бабочек («бабочки Маундера»), показанные на рис. 7. Разглядывая получившуюся картинку, можно прийти к выводам о наличии циклов солнечной активности продолжительностью около 11 лет и обнаружить, что цикл состоит из двух волн активности, начинающихся на высоких широтах и смещающихся к экватору (закон Шпёрера²).

Но как исследовать данные более высокой размерности (три и более измерений) и обнаруживать там структуры

² Рекомендуем книгу Ю.В. Витинского «Солнечная активность» для более детального описания.

и закономерности? Удобным инструментом являются алгоритмы понижения размерности. В качестве примера мы рассмотрим алгоритмы кластеризации.

РАЗДЕЛЯЙ И ВЛАСТВУЙ!

Задача кластеризации – разделить данные по группам таким образом, чтобы данные, попавшие в одну группу, были чем-то более похожи между собой, чем на наблюдения из соседних групп. Необходимо признать, что задача звучит довольно расплывчато. Что значит быть похожим? Сколько может быть групп? Разберемся на примере алго-

ритма, получившего название метода К-средних.

Вновь обратимся к рядам наблюдений групп солнечных пятен. Чтобы определить расстояние между точками в координатах «широта–время», необходимо перейти к безразмерным величинам, выбрав характерные масштабы. Графики распределения количества наблюдений по широте и времени (рис. 8) подсказывают, что в качестве новой единицы по широте разумно взять 40 градусов, а по времени – 11 лет (иными словами, поделить изначальные значения на новые единицы измерения).

Допустим, что число кластеров K известно (позже обсудим, как определить

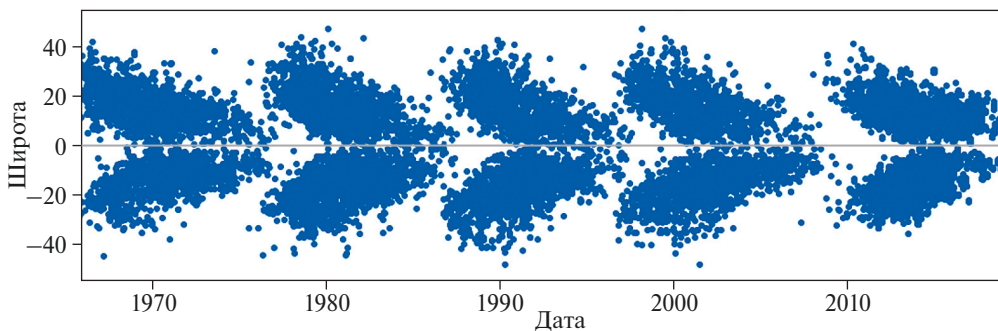


Рис. 7. Распределение групп солнечных пятен в координатах широта–время. Данные Кисловодской горной астрономической станции, <https://observethesun.com/>

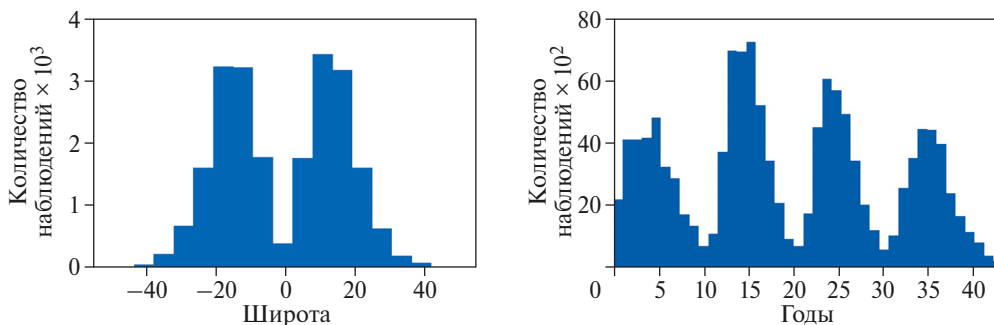


Рис. 8. Распределение количества наблюдений по широтам (слева) и времени (справа)

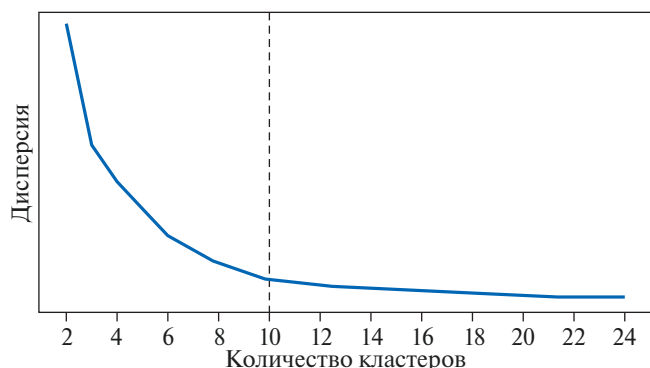


Рис. 9. Суммарная дисперсия точек внутри кластеров в зависимости от числа кластеров

оптимальное значение). Случайным образом выберем K наблюдений и назовем их центрами кластеров. Далее запустим итеративную процедуру, где каждая итерация состоит из двух шагов. На первом шаге все наблюдения распределяются по кластерам согласно тому, к центру какого кластера наблюдение лежит ближе. На втором шаге пересчитывается положение центра каждого кластера как центр масс точек данного кластера. Итерации повторяются до тех пор, пока центры кластеров не стабилизируются.

Результат, конечно, может зависеть от выбора начальных положений цен-

тров кластеров, поэтому рекомендуется запускать процедуру несколько раз и выбирать наиболее удачное итоговое разделение (например то, при котором разброс точек внутри кластеров наименьший). С помощью данной метрики часто оценивают оптимальное число кластеров. Для этого строят график зависимости разброса (дисперсии) от числа кластеров (рис. 9) и выбирают то, при котором резкое

убывание сменяется на плавное (для нашей задачи, например, $K = 10$).

На рис. 10 цветами показан результат разделения на 10 кластеров. Алгоритму удалось успешно выделить циклы и волны активности. Довольно естественно, что на границе волн возникли неопределенности. Подчеркнем, что для применения алгоритма кластеризации мы не использовали предположения о существовании циклов и волн активности. Разделение было получено как результат применения алгоритма. Конечно, мы могли бы провести разделение и на другое число кластеров, что привело бы к

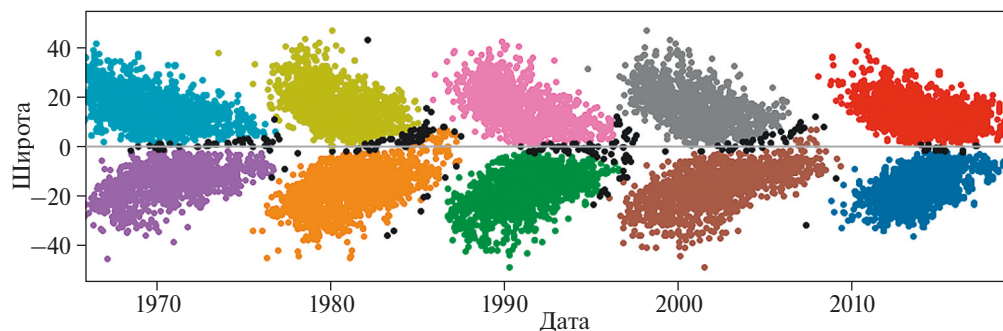


Рис. 10. Результат разделения на 10 кластеров. Цветом показаны отдельные кластеры, черные точки обозначают наблюдения, для которых алгоритм затруднился однозначно выбрать подходящий кластер

укрупнению или, наоборот, дроблению некоторых циклов. Но в этом и суть кластерного анализа – изучать формирование структур. Добавив к двум координатам пятен еще ряд признаков, например, площадь и магнитный поток, мы оказались бы в пространстве размерности 4, которое трудно представить или изобразить на плоскости. Интересно, сколько кластеров и с какими особенностями образуется в этом пространстве? Предлагаем заинтересованному читателю исследовать этот вопрос.

КАК ПРЕДСКАЗЫВАТЬ СОЛНЕЧНЫЕ ВСПЫШКИ?

Одна из наиболее динамично развивающихся областей, в которой машинное обучение применяется широко и успешно, – это предсказание энергичных событий на Солнце (солнечных вспышек, корональных выбросов масс, протонных событий, и т.д.). Интерес к подобной задаче не только научный: прогноз энергичных событий

влияет на множество аспектов современной жизни – например, на надежность и стоимость электроснабжения в областях на высоких широтах, на безопасность пассажиров и экипажей гражданской авиации с точки зрения радиационного облучения, на исправную работу GPS и радиосвязи, и, разумеется, на планирование операций на Международной космической станции и за ее пределами.

Существует множество вариантов постановки самой задачи в зависимости от наличия и качества данных, а также целей исследования. В данном разделе мы рассмотрим наиболее простую из подобных постановок: предсказание наличия или отсутствия солнечной вспышки определенной силы (класса) в течение следующего дня для каждой Активной Области на Солнце на основе свойств (дескрипторов) магнитного поля этой области, а также ее предыдущей активности.

Принципиальная схема такого прогноза приведена на рис. 11. Для начала напомним, что активной областью

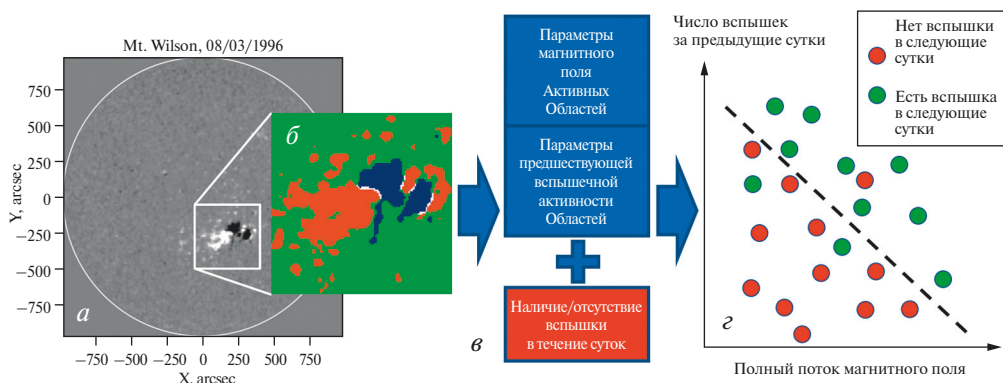


Рис. 11. Иллюстрация принципиальной схемы прогноза энергичных событий на Солнце на основе свойств (дескрипторов) магнитного поля. (а) Исходная магнитограмма и идентифицированная активная область. (б) Обработка магнитограммы активной области и вычисление параметров. (в) Вектор дескрипторов магнитного поля активной области и ее предшествующей вспышечной активности, и ее класс. (г) Вычисление разделяющей поверхности алгоритмом машинного обучения в пространстве параметров

на Солнце называется область с большой концентрацией магнитного поля (зачастую, но не всегда, эти области связаны с солнечными пятнами). Магнитное поле на солнечной фотосфере оценивается специальными приборами – магнитографами. Пример карты магнитных полей, измеренных вдоль луча зрения, (магнитограммы) приведен на рис. 11а.

Активную область на магнитограмме (рис. 11б) можно отождествить, обработать и вычислить определенные ее свойства (например, площадь области, ее полный магнитный поток и т.д.). Такую процедуру можно проделать с каждой активной областью в разные моменты времени. Стоит отметить, что, как правило, используются заранее вычисленные свойства активных областей из общедоступных баз данных (например, <http://jsoc.stanford.edu/>). Набор параметров можно дополнить характеристиками предыдущей активности области, например, числом вспышек в области за прошедшие сутки. Как показывает практика, прогноз при этом становится точнее. После того, как набор параметров определен, необходимо указать, произвела ли эта активная область вспышку в течение последующих суток – то есть приписать набору параметров класс, ноль или единицу (рис. 11в).

В итоге задача прогноза вспышек конвертируется в задачу бинарной классификации по набору параметров – классическую задачу машинного обучения. Для решения этой задачи все доступные примеры с их классами делятся на две группы – на тренировочный и тестовый набор данных. Алгоритм обучается на тренировочном наборе данных, а эффективность проверяется на тестовом.

Стоит отметить, что в качестве алгоритма машинного обучения может выступать не только нейронная

сеть, но и более классические подходы: метод опорных векторов, случайные леса, логистическая регрессия, метод ближайших соседей. Изучение этих алгоритмов, которые могут быть использованы для решения задачи бинарной классификации, мы оставим на усмотрение читателя. Здесь же только отметим, что большинство из них преследует одну и ту же цель – построение оптимальной разделяющей поверхности между двумя классами в многомерном пространстве дескрипторов (рис. 11г). После автоматизации распознавания активных областей и вычисления их дескрипторов натренированный и проверенный алгоритм может быть использован для прогноза вспышек в реальном времени по мере поступления новых данных.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Приложения методов машинного обучения особенно активно развиваются в последние годы, и трудно охватить все аспекты этой темы в одном обзоре. Мы рассмотрели лишь два различных по своим идеям примера. Читателям, заинтересовавшимся математическими аспектами построения и обучения моделей машинного обучения, мы рекомендуем ознакомиться с книгами Мерфи (Murphy, 2012) и Бишопа (Bishop, 2006). А для дальнейшего обзора приложений данных моделей в солнечной физике и в частности для прогноза космической погоды рекомендуем обратиться к книге Кампреале (Camporeale, 2018).

Как нам кажется, методы машинного обучения имеют большой потенциал в вопросах изучения солнечной активности. Как и во всякой молодой науке, приложение ее методов для каждой следующей задачи помогает, с одной

стороны, лучше понять принципы работы и границы применимости этих методов, а с другой по-новому взглянуть на саму задачу. Различные исследования показывают, что уже сегодня методы машинного обучения дают точность, сравнимую с текущими более классическими моделями (например, точность прогноза солнечных вспышек уже сопоставима с точностью прогнозов Центра прогноза космической погоды NOAA, США, основанного на статистике и опыте экспертов). По мере накопления данных качество будет повышаться, и в этом ключевое отличие от классического подхода.

Авторы благодарны Тлатову А.Г. за ценные комментарии в процессе подготовки статьи. Работа выполнена при частичной поддержке гранта РНФ 20-72-00106.

Рекомендованная литература

1. *Витинский Ю.И.* Солнечная активность. 2-е изд. М.: Наука, 1983.
2. Camporeale E., Wing S., Johnson J. Machine Learning Techniques for Space Weather, 2018.
3. *Murphy K.* Machine Learning: A Probabilistic Perspective, 2012. MIT Press, ISBN: 9780262018029
4. *Bishop C.* Pattern Recognition and Machine Learning, 2006. Springer-Verlag New York. ISBN978-0-387-31073-2



ИЗДАТЕЛЬСТВО НАУКА 1727
naukapublishers.ru

ЭКСКЛЮЗИВНЫЙ ПЕРЕПЛЕТ

Рисунок на коже
Все виды тиснения
Кожанный переплет
Рельефное тиснение
Клише любой сложности
Полноцветная роспись обзоров
А также адресные папки, дипломы, футляры

Берёмся за работы любой сложности!
По всем интересующим вопросам пишите на почту kiseleva@tnauka.ru

реклама

СОЛНЕЧНАЯ АКТИВНОСТЬ И СОЦИАЛЬНЫЕ КАТАКЛИЗМЫ: ТЕКУЩИЙ МОМЕНТ

РОДКИН Михаил Владимирович,

доктор физико-математических наук

Институт теории прогноза землетрясений и математической геофизики РАН,

Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН

DOI: 10.7868/50044394821040046

Ранее была опубликована статья «Спонтанные массовые социальные катаклизмы и гелио-геомагнитная активность» (ЗиВ, 2018, № 3). В ней, в развитие идей А.Л. Чижевского^{1, 2}, рассматривался статистический анализ взаимосвязи массовых спонтанных социальных возмущений и циклов солнечной активности. Для статистического сравнения использовались базы данных по солнечной активности и по возмущенности геомагнитного поля (ИЗМИРАН) и мировая база данных вооруженных конфликтов и восстаний, архив Мирового Центра Данных С (Политехнический институт, Киев)³.

Изначально автор весьма скептически относился ко многим приводившимся ранее примерам воздействия солнечной активности на различные биологические и политические процессы. Действительно, если, напри-

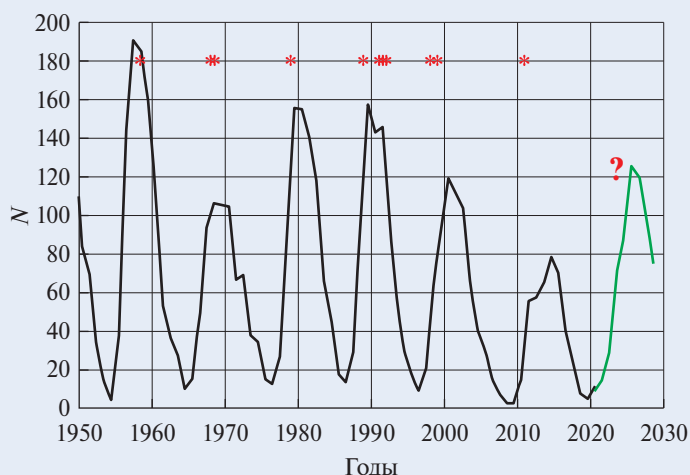
мер, годы наиболее успешных захватов Наполеона Бонапарта и приходятся на периоды повышенной солнечной активности (что можно гипотетически объяснить воздействием Солнца на полководца), то непонятно, почему Солнце аналогично не действовало на его противников, или на дипломатов, призванных искать мирные разрешения конфликтов? Или почему солнечная активность способствовала развитию эпидемий чумы, а не активизировала естественных врагов возбудителей и переносчиков этой болезни? Определенный скепсис к подобным примерам у автора сохраняется. Но статистическое сравнение показало уверенную корреляцию периодов максимумов солнечной активности и моментов начала массовых социальных катаклизмов⁴. Начало катаклизмов вполне значимо коррелирует с периодами роста и максимумами солнечной активности. При этом несколько более тесная связь наблюдается с возмущенностью геомагнитного поля планеты. Последнее также вполне естественно, так как на

¹ Гневашев М.Н. Основоположник гелиобиологии; Голованов Л.В. А.Л. Чижевский – ученый-энциклопедист // Земля и Вселенная. 1987, № 6; 1997. № 5.

² Чижевский А.Л. Земное эхо солнечных бурь. М.: Мысль, 1973.

³ Zgurovsky M., Gvishiani A. Sustainable development global simulation: Quality of life and security of the world population (2005–2007/2008). Kiev: Polytekhnik, 2008.

⁴ Родкин М.В., Харин Е.П. О статистической взаимосвязи солнечной активности и социальных процессов // Геофизические процессы и биосфера. 2013. Т. 12, № 3, С. 19–32.



18-й–25-й циклы солнечной активности 1950–2030 гг. (N – числа Вольфа). Черной линией даны среднегодовые числа солнечных пятен, зеленой – прогноз развития текущего 25-го цикла. Красными звездочками указаны годы спонтанных массовых социальных волнений, хорошо известные читателю и перечисленные в тексте.

людей, по-видимому, непосредственно воздействует не режим появления солнечных пятен, а порождаемые солнечной активностью возмущения геомагнитного поля.

Описанная выше статистическая взаимосвязь была получена по данным с конца XVII века. Но более интересна текущая ситуация. Для начала рассмотрим период, начиная с послевоенного 19-го цикла солнечной активности, продолжавшегося с апреля 1954 г. до октября 1964 г. Среди относящихся к этому времени хорошо известных читателям журнала «Земля и Вселенная» массовых социальных катаклизмов отметим выступления в 1958 г. в Венгрии. Следующий 20-й цикл (октябрь 1964 г. – март 1976 г.) связан с революционным маем в Париже в 1968 г., Пражской весной 5 января – 21 августа 1968 г. Во время 21-го цикла (март 1976 г. – сентябрь 1986 г.) произошла Исламская революция в Иране 1978–1979 гг.

22-й цикл 1986–1996 гг. отметился серией «бархатных» революций в Восточной Европе 1989 г., начавшихся общенациональной забастовкой в Польше в 1988 г. и закончившихся в 1991 г. распадом СССР и Югославии. В 24-й цикл 2009–2019 гг. произошла Арабская весна – с волнений 17 декабря 2010 г. в Тунисе и закончившаяся массовыми выступлениями в феврале 2011 г. Сюда же, как отзвук распада Югославии, можно отнести серию вооруженных конфликтов в албанских районах в 2011–2012 гг. Как можно проследить на графике, эти события возникали периодически и все попадали на фазы повышенной солнечной активности.

Новый 25-й цикл начался в декабре 2019 г. По прогнозу ожидается, что он будет заметно сильнее предыдущего 24-го, но слабее 22-го цикла солнечной активности, «отметившегося» серией «бархатных» революций в Восточной Европе и распадом СССР и Югославии.

Начало 25-го цикла уже показало недовольство граждан и народные выступления. В Беларуси неожиданно массовые протесты последовали после очередных президентских выборов в августе 2020 г. В Мьянме (до 1989 г. – Бирма) также неожиданно массовыми оказались протесты против очередного военного переворота, довольно привычного в этой стране. Неожиданная активизация народных выступлений наблюдается и в различных регионах Российской Федерации. Предыдущие значительные выступления в России имели место в 2011–2013 гг. В СМИ они получили название «болотная революция». Эти выступления начались после выборов в Государственную думу VI созыва 4 декабря 2011 г., продолжались во время кампании по выборам президента России и некоторое время и после выборов, состоявшихся 4 марта 2012 г. Заметим, что эти выступления также попадают на начало роста 24-го цикла

солнечной активности. Ввиду относительно меньшей массовости, события «болотной революции» на графике не отражены.

Легко проследить, что текущая экономическая, политическая и гелио-геофизическая обстановка указывает на большую вероятность серьезных социальных движений в самое ближайшее время и примерно до 2025 г. не только в России, но и в мире. В дополнение к известному шутивому лингвистическому методу различения успешных и неуспешных восстаний (по Дж. Харингтону и С.Я. Маршаку): «Мятеж не может кончиться удачей. В противном случае, его зовут иначе», можно предложить также и геофизический подход. Более массовыми и успешными имеют шансы оказаться восстания и мятежи – они же «славные революции» – если они возникают в годы подъема или максимума солнечной активности.



ИЗДАТЕЛЬСТВО
НАУКА
1727
naukapublishers.ru

А вы отправили обязательный экземпляр?

Издательство «Наука» предлагает организациям
и независимым издателям услугу по отправке
Обязательного Электронного Экземпляра
в Российскую государственную библиотеку
и Российскую книжную палату

При размещении научных, научно-популярных книг и журналов в Электронной библиотечной системе
Издательства «Наука» (libnauka.ru) данную услугу мы предоставляем бесплатно
Задать вопрос и узнать о стоимости услуги вы можете по адресу oee@naukaran.com

Реклама

«ТЯНЬГУН» НАЧИНАЕТСЯ

ЛИСОВ Игорь Анатольевич

DOI: 10.7868/50044394821040058

29 апреля 2021 г. с китайского космодрома Вэньчан на ракете CZ-5В на орбиту был выведен первый модуль Китайской космической станции. У Международной космической станции появился «младший брат», имеющий все шансы надолго пережить свою «старшую сестру».

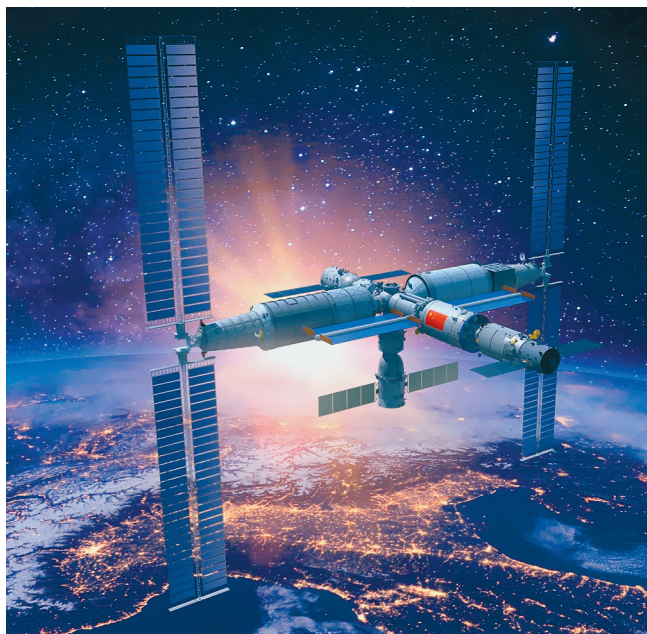
Китайская космическая станция (中国空间站, *чжунго кунцзянь чжань*) – это основное официальное наименование строящегося объекта. Интересно, что в китайском языке, как и в русском, слово «чжань» имеет широчайший диапазон значений, начиная от

железнодорожной станции и заканчивая космической. На этапе проектирования ее также называли «Тяньгун» (天宫, буквально «Небесный дворец»), но сейчас это имя «ушло в тень» – вероятно, чтобы избежать путаницы с двумя ранее созданными космическими лабораториями «Тяньгун-1» (2011–2018) и «Тяньгун-2» (2016–2019). Нам, однако, оно нравится больше, чем аббревиатура ККС.

Отсчет истории проекта «Тяньгун» можно вести с 21 сентября 1992 г., когда Госсовет КНР одобрил трехэтап-

Тысячи зрителей наблюдали старт «Тяньхэ» с пляжей острова Хайнань





Китайская космическая станция первой очереди в представлении художника

ную стратегию пилотируемой космонавтики.

На первом этапе был создан и испытан первый в Китае пилотируемый космический корабль «Шэньчжоу» (神舟, буквально «Волшебный челн»), построенный по схеме отечественного «Союза», и после четырех беспилотных испытаний выполнены два пилотируемых полета на «Шэньчжоу-5» и «Шэньчжоу-6» в 2003 и 2005 гг.

Содержанием второго этапа стало освоение базовых технологий космического строительства – работа в открытом космосе, стыковка на орбите, кратковременные экспедиции на космических лабораториях, создание грузового корабля. Выход в открытый космос был главной задачей «Шэньчжоу-7» (2008), за ним последовали запуск восьмитонной космической лаборатории «Тяньгун-1», автоматическая стыковка к ней корабля «Шэньчжоу-8» (2011) и два пилотируемых полета с автоматической

и ручной стыковкой (2012, 2013). Он был завершен в 2017 г. после месячной работы экипажа «Шэньчжоу-11» на лаборатории «Тяньгун-2» и успешного полета первого грузового корабля «Тяньчжоу» (天舟, «Небесный челн»).

Параллельно с реализацией второго этапа 25 сентября 2010 г. Госсовет КНР утвердил к реализации программу создания на третьем этапе «сравнительно большой» орбитальной пилотируемой станции. Спроектированная модульная станция, которую планировалось собрать на орбите к 2020 г., очень сильно напоминала советский «Мир».

Объявленные цели проекта Китайской космической станции таковы:

- разработать технологии для длительного пилотируемого полета и изучить медицинские проблемы, чтобы найти долгосрочные решения для безопасной жизни и эффективной работы космонавтов, создать основу для будущего освоения космоса в ходе долговременных космических полетов;
- построить национальную космическую лабораторию передового мирового уровня для крупномасштабных научно-технических экспериментов, для решения образовательных задач и для продвижения международного и регионального сотрудничества с целью получения важных научных результатов и их плодотворного использования;
- реализовать полную систему пилотируемых космических операций и связанных с нею систем управ-

ления и обеспечения, подготовить высококвалифицированную техническую и управленческую команду, которая станет основой для дальнейшего развития в сфере освоения космоса.

Главный конструктор пилотируемой программы Чжоу Цзяньпин (周建平) охарактеризовал место станции в стратегии национального развития Китая следующим образом:

- укрепление национальной уверенности и гордости, усиление национального единства, утверждение статуса великой державы;
- строительство полноценной, крупномасштабной космической станции с высокими характеристиками и выдающейся эффективностью;
- достижение долгой и безопасной жизни и эффективной работы китайских космонавтов на орбите;
- проведение испытаний крупномасштабных космических систем и непрерывных исследований в области космической науки и приложений;
- дальнейшее стимулирование научного духа и энтузиазма к инновациям;
- обширное международное сотрудничество в области пилотируемой космонавтики.

Надо отметить, что помимо статусных соображений создание и эксплуатация национальной космической станции позволяет освоить технологии обеспечения длительной жизни и работы человека в космосе. На Луну можно высадиться в режиме «кавалерийского наскока», но ни долговременная лунная база, ни экспедиции на Марс и в более отдаленные области Солнечной системы без такого опыта немыслимы.

В то же время доступ на станцию иностранных исследователей, прежде всего из Азиатско-Тихоокеанского региона, подчеркнет статус КНР как самостоятельной космической державы,

формирующей собственный «кластер» в пилотируемом космосе.

Реализуемая на китайской станции система научных и прикладных исследований на станции наследует лучшие стороны опыта эксплуатации «Мира» и МКС. Можно утверждать, что хотя «Тяньгун» и меньше «Мира» по объему, но является более современным по составу бортовых систем и принципам организации работ. Что же касается МКС, то Китай рассчитывает приблизиться к ее уровню функционально и превзойти в части информационных технологий и энергетики и по эффективности эксплуатации.

Программа исследований на комплексе «Тяньгун» включает следующие направления:

- космическая медицина;
- космическая биология и биотехнология;
- физика жидкости и физика горения;
- материаловедение;
- фундаментальная физика невесомости;
- исследование Земли из космоса;
- космические информационные технологии;
- аэрокосмические технологии;
- использование новых технологий в космосе;
- космическая среда и космическая физика;
- отработка компонентов и приборов;
- космическая астрономия и астрофизика.

КОСМИЧЕСКАЯ СТРОЙКА ПО-КИТАЙСКИ

Китайская космическая станция первого этапа массой около 66 т будет собрана на орбите наклонением 41.5° и высотой 393 км. В ее состав войдут Базовый блок «Тяньхэ», где будет сосредоточено управление всеми системами



Эмблема запуска «Тяньхэ»

комплекса, два экспериментальных модуля «Вэньтянь» и «Мэнтянь», а также автономный астрономический КА «Сюньтянь» с двухметровым телескопом. К «Тяньгуну» могут быть одновременно пристыкованы три космических корабля (два пилотируемых и один грузовой или наоборот), и с учетом этих непостоянных элементов масса комплекса приблизится к 100 тоннам.

Система электропитания станции будет иметь мощность 27 кВт, из которых до 12 кВт выделяется для научной аппаратуры. Постоянный экипаж станции будет состоять из трех космонавтов, во время пересменки на борту будут одновременно жить и работать шесть человек. Продолжительность экспедиций составит шесть месяцев и более.

Проект Китайской космической станции разделен на три фазы: подтверждение заложенных в него ключевых технологий, сборка станции и ее эксплуатация.

В первой фазе запланировано шесть стартов, главным из которых является запуск Базового блока «Тяньхэ» и его всесторонние испытания, включающие визиты двух грузовых кораблей

«Тяньчжоу» и двух пилотируемых «Шэньчжоу». В этот период ККС будет работать в режиме посещения: первая экспедиция на «Шэньчжоу-12» должна проработать на станции три месяца, с июня по сентябрь 2021 г., а вторая – пять, с октября 2021 по март 2022 г. На грузовом корабле «Тяньчжоу-2» будет опробована стыковка к переднему и заднему узлам «Тяньхэ», а также сближение в телеоператорном режиме. Он же послужит экспериментальным объектом для испытаний манипулятора станции с большими массами перемещаемого груза.

Вторая фаза включает следующие шесть стартов. Экипаж «Шэньчжоу-14» (запуск в мае 2022 г.) примет оба экспериментальных модуля – «Вэньтянь» и «Мэнтянь» и в ноябре 2022 г. сдаст вахту экипажу «Шэньчжоу-15». Для снабжения станции в этот период будут запущены еще два «Тяньчжоу».

Эксплуатация комплекса начнется в 2022 г. и продлится по крайней мере 10 лет, но модули станции изготавливаются с расчетным ресурсом в 15 лет.

«ТЯНЬХЭ»

Базовый блок «Тяньхэ» (天和, буквально «Гармония неба и земли») является центром управления станции и обеспечивает встречу и стыковку с ней пилотируемых и грузовых кораблей и модулей и эксплуатацию большого манипулятора. На начальном этапе он обеспечивает жилые условия для экипажа и внекорабельную деятельность.

Внешне «Тяньхэ» очень похож на Базовый блок советской орбитальной станции «Мир», но немного длиннее. Стартовая масса объекта 22 500 кг, длина 16.6 м, максимальный диаметр 4.2 м. Как и прототип, он состоит из переднего узлового отсека, основного жилого и командного отсека, хвостового

ресурсного отсека и проходящей сквозь него по оси промежуточной камеры. Все отсеки, за исключением ресурсного, образуют гермообъем, из которого 50 м^3 доступны для экипажа. Основные системы скомпонованы в стойках, подобно тому, как это сделано на американском, европейском и японском сегментах МКС. Стандартная стойка массой до 500 кг имеет высоту 1.8 м при ширине 1.0 м и максимальной глубине 0.9 м. 16 стоек размещены в четырех последовательных цилиндрических секциях в отсеке большого диаметра по четыре штуки – на полу, по боковым стенам и на потолке. Между ними остается центральный проход квадратного сечения.

Основной отсек, как и на «Мире», состоит из зоны большого диаметра и зоны малого диаметра. Последний чуть уже «мировского» – примерно 2.6 м вместо 2.9 м у прототипа. Обе зоны защищены снаружи матами противометеоритной защиты, над которыми смонтированы радиаторы системы терморегулирования. На зенитной части зоны малого диаметра установлена антенна для связи через спутник-ретранслятор. В зоне сопряжения двух диаметров смонтированы шесть силовых гироскопических стабилизаторов (гиродинов) для поддержания ориентации станции и ее разворотов.

На боковых сторонах зоны малого диаметра смонтированы приводы солнечных батарей. Панели с фотоэлементами в стартовом положении сложены «гармошкой» в двух контейнерах на каждой стороне, а на орбите переводятся в рабочее состояние с помощью выдвижной ферменной конструкции. Каждая из двух панелей имеет площадь 6 м^2 при длине 12.6 м, снимаемая мощность с них мощность достигает 9 кВт.

На надирной поверхности малого диаметра при старте уложен манипу-



Базовый блок «Тяньхэ» на сборке и испытаниях

лятор, который в рабочем состоянии будет устанавливаться на узлы (гнезда) на Базовом блоке и других модулях. На «Тяньхэ» их три: один на зенитной стороне малого диаметра и еще два – слева внизу на малом и большом диаметре. Как и канадский манипулятор на МКС, китайская «рука» имеет семь сочленений и два концевых эффектора (захвата) и может «переступать» с одного узла на другой. Длина манипуля-

тора составляет 10 м, он может переносить объекты массой до 25 т.

Внутренний объем зоны малого диаметра организован в виде прохода прямоугольного сечения с боковыми нишами. Здесь организованы временные спальные места космонавтов, здесь же установлены тренажеры для физических упражнений (беговая дорожка и велоэргометр) и обеденный столик. В зоне большого диаметра смонтированы блоки командного поста станции и размещена исследовательская аппаратура.

Ресурсный (агрегатный) отсек занимает последние 2.1 м длины объекта и содержит в себе основные элементы двигательной установки. В отсеке смонтированы шесть сферических баков с компонентами топлива (до 1800 кг несимметричного диметилгидразина и четырехокси азота) и топливные магистрали. Четыре двигателя для коррекции орбиты находятся на наружной поверхности отсека. Там же смонтированы четыре блока двигателей малой тяги для ориентации и разгрузки гиродинов (всего 22 двигателя).

В составе ДУ также имеется четыре холловских электроракетных двигателя для компенсации атмосфер-

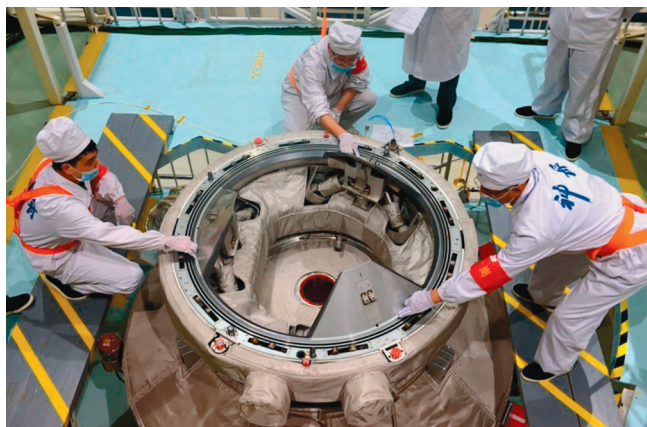
ного торможения – два рабочих и два запасных. Двигатели ЛНТ-100 имеют тягу 80 мН при энергопотреблении 1527 Вт и удельном импульсе 1531 сек. Блок управления и баки с рабочим телом могут по мере необходимости заменяться космонавтами, работающими в открытом космосе. Годовая потребность в ксеноне оценивается в 400 кг, в то время как при использовании ЖРД расход компонентов составил бы 2–3 тонны.

Узловой отсек выполнен в виде шара диаметром около 2.8 м и имеет четыре стыковочных узла: передний, к которому в норме стыкуется транспортный корабль «Шэньчжоу», два боковых для двух основных модулей станции и надирный для стыковки второго «Шэньчжоу». Кормовой стыковочный узел по оси промежуточной камеры – основное место стыковки грузового корабля «Тяньчжоу», но он может приходить и на передний узел. Осевые узлы имеют интерфейсы для перекачки топлива из баков грузового корабля в баки ресурсного отсека.

Все узлы андрогинно-периферийного типа – по-видимому, лицензионные АПАС-89. Передний, хвостовой и надирный обеспечивают подход и стыковку кораблей и модулей, а два боковых – только присоединение модулей.

Исследовательские модули «Вэньтянь» и «Мэньтянь», запуск которых запланирован на май и август 2022 г., первоначально стыкуются к переднему узлу «Тяньхэ», а затем переводятся на боковые узлы – точно так же, как это делалось на «Мире». Для этого модули оснащаются специальным коротким манипулятором, а на стыковочном

Стыковочный агрегат типа АПАС-89



модуле «Тяньхэ» имеются два выступа с гнездами для захвата их манипулятором и последующего разворота модуля относительно Базового блока.

Вместо зенитного узла на «Тяньхэ» установлен люк для выхода в открытый космос с кольцевым поручнем вокруг него. Этот люк будет использоваться на начальном этапе полета станции до ввода в строй модуля «Вэньтянь».

«ВЭНЬТЯНЬ»

Исследовательский модуль № 1 «Вэньтянь» (问天, «Вопрошание к небу») функционально соответствует модулю «Квант-2» станции «Мир». Он дублирует функции управления «Тяньхэ» и обеспечивает регулярную работу в открытом космосе.

Модуль имеет в своем составе герметичный отсек, где располагаются основная жилая зона космонавтов и аварийное убежище, а также размещаются служебные системы и научная аппаратура, хранятся расходные материалы, запасные части и припасы. В рабочем отсеке большого диаметра в шести секциях может быть установлено до 24 стоек со служебной и научной аппаратурой. Научной специализацией модуля считается космическая биология и биотехнология.

Далее идет негерметичный грузовой отсек, на котором снаружи смонтирован малый манипулятор и имеются места для размещения выносимых экспериментов. Внутри отсека смонтирована шлюзовая камера для выходов в открытый космос продолжительностью до 8 часов.

Третьим от оси станции монтируется конический ресурсный отсек с двумя приводами солнечных батарей: первый служит для вращения ферменной части относительно поперечной оси станции, второй – для разворота панелей бата-

рей в сторону Солнца. Здесь в качестве прототипа явно взята компоновка основных солнечных батарей американского сегмента МКС.

«МЭНТЯНЬ»

Исследовательский модуль № 2 «Мэнтянь» (梦天, «Небо мечты») напоминает модуль «Кристалл» станции «Мир». Он предназначен главным образом для проведения экспериментов и имеет в своем составе три отсека: герметичный рабочий с 24 местами для стоек аппаратуры, главным образом для физических экспериментов, негерметичный для внешней полезной нагрузки и ресурсный. Изначально модуль предназначался главным образом для размещения астрономической аппаратуры, но проект был переработан после того, как в 2014 г. победила концепция свободно летающего телескопа.

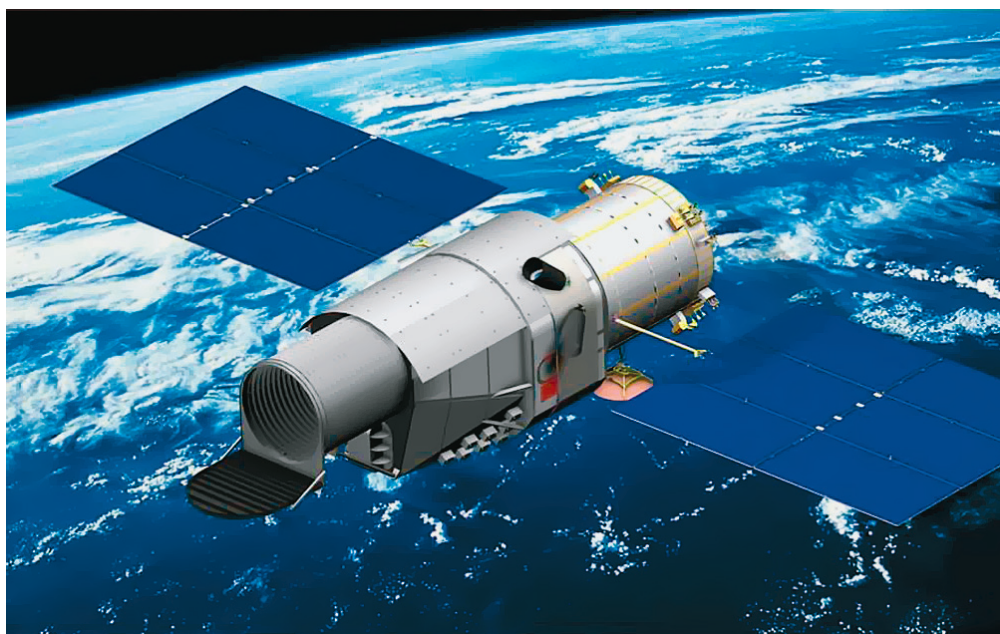
Отсек полезной нагрузки имеет две научные шлюзовые камеры для проведения экспериментов на внешней поверхности станции.

Как и на «Вэньтяне», приводы двух больших солнечных батарей смонтированы на внешней конической части модуля.

«СЮНЬТЯНЬ»

Автономный научный модуль «Сюньтянь» (巡天, «Обозрение неба»), известный также как оптический модуль, будет работать на такой же орбите, как и сама станция, и периодически стыковаться с ней для дозаправки топливом, профилактики и ремонта. Запуск «Сюньтяня» планируется на 2024–2025 гг.

Модуль состоит из двух основных отсеков: служебного, который обеспечивает ориентацию и управляемый полет



Автономный астрономический модуль «Сюньтянь»

обсерватории, сближение и стыковку со станцией, и целевого – собственно телескопа с аппаратурой регистрации. «Сюньтянь» имеет 14 м в длину и 24 м в размахе солнечных батарей, его масса составит 15 500 кг.

Телескоп видимого и ближнего УФ-диапазона с апертурой около 2 м и фокусным расстоянием 28 м построен по схеме «внеосевой трехзеркальный анастигмат» и благодаря этому имеет огромное поле зрения $1.1 \times 1.0^\circ$ (в 200 раз больше, чем у космического телескопа им. Хаббла). «Сюньтянь» рассчитан на наблюдения в диапазоне длин волн 255–1000 нм при наилучшем угловом разрешении 0.15" и проникающей способности до 25.5^m.

Основная часть поля зрения телескопа принадлежит большой обзорной камере SC с фотоприемником размером 0.26 м² в линейных единицах и 2500 Мпикс по числу пикселей. Вся область делится на 30 участков размером $11 \times 11'$, каждый из которых имеет

тот или иной широкополосный фильтр или дифракционную решетку. Предполагается, что камера SC использует 65% наблюдательного времени и за 10 лет эксплуатации телескопа сможет отснять с шестью широкополосными фильтрами 17 500 квадратных градусов, то есть 40% всего неба. Спектроскопическая часть прибора имеет разрешение $R > 200$.

Помимо камеры имеются еще четыре специализированных инструмента для соответствующих областей исследований:

- спектрограф интегрального поля IFS с полем зрения $6 \times 6''$ с пространственным разрешением 0.2" и спектральным $R > 1000$;
- мультиканальная камера MCI, которая обеспечивает в поле зрения $7 \times 7'$ трехканальную съемку с разрешением 0.05", колориметрию и фотометрию;
- видовой коронограф холодных планет CPIC;

- терагерцовый приемник THZ на диапазоне 0.41–0.51 ТГц для астрономических и атмосферных наблюдений.

НАУКА НА «ТЯНЬГУНЕ»

На внешней поверхности китайской станции предусмотрено 67 стандартных мест для внешних полезных нагрузок малого и среднего класса: 30 на первом и 37 на втором экспериментальном модуле, – а также четыре места для больших внешних приборов. На рабочем отсеке модуля «Вэньтянь» со стороны набегающего потока предусмотрены интерфейсы для одной экспериментальной выдвижной платформы и для одной внешней нагрузки специального типа, и еще два специальных места имеются на хвостовом отсеке «Тяньхэ» по II и IV плоскости.

В трех герметичных модулях станции из 64 мест под размещение стандартных стоек 26 предназначены для научной аппаратуры: 4 в Базовом блоке, 9 и 13 – в двух экспериментальных модулях. Как и на МКС, стойки в основном спроектированы как специализированные, но предусмотрены и универсальные со стандартными местами для размещения аппаратуры пользователей. Приборы запитываются от напряжения 28 или 100 В постоянного тока, обеспечивается их вентиляция и охлаждение. К аппаратуре подводится низкоскоростная параллельная шина для управления и Ethernet-кабель на 100 Мбит/с для сброса информации.

В выпущенном в апреле 2019 г. документе «Руководство по научным экспериментам на Китайской космической станции» подробно описаны 16 стоек научной и обеспечивающей аппаратуры, уже изготавливаемые для оснащения станции. Направления научных

исследований, для которых запланированы стойки: космическая медицина; космическая биология и биотехнология; физика жидкостей, двухфазные системы и процессы горения; космическое материаловедения; фундаментальная физика; новая космическая техника; общие лабораторные системы.

28 мая 2018 г. постоянный представитель КНР при отделении ООН и других международных организаций в Вене Ши Чжунцзюнь объявил, что все страны-члены Организации приглашаются к сотрудничеству по совместному использованию будущей станции. «Китайская космическая станция принадлежит не только Китаю, но также и миру, – сказал он. – Все страны, независимо от их размера и уровня развития, могут участвовать в сотрудничестве на равных основаниях».

5 августа агентство «Синьхуа» со ссылкой на Китайскую исследовательскую академию космической техники (CAST) сообщило о создании Комиссии по научно-техническим экспериментам на станции «Тяньгун» в составе 14 ведущих ученых во главе с академиком Китайской АН Бао Вэймином (包为民).

12 июня 2019 г. Китай объявил победителей конкурса проектов. Всего было получено 42 предложения из 27 стран мира, из которых шесть проектов выбраны для реализации окончательно и еще три – условно. В подготовке утвержденных экспериментов принимают участие 23 научных учреждения из 17 стран мира:

- поляриметрия гамма-всплесков (POLAR-2; Швейцария, Польша, Германия, Китай);
- спектроскопия газовых туманностей (SING; Индия, Россия);
- поведение частично смешивающихся жидкостей в невесомости (Индия, Бельгия);

- двухфазная микросистема охлаждения для космических применений (Италия, Кения);
- платформа для наблюдения Земли в средневолновом ИК-диапазоне (Мексика);
- нестабильность пламени под действием вихрей и акустических волн (Китай, Япония);
- создание многопереходных арсенид-галлиевых фотоэлементов для космических применений (Саудовская Аравия);
- опухоли в космосе: признаки ранних мутаций в условиях космического полета в трехмерных органоидных культурах (Норвегия, Франция, Нидерланды, Бельгия);
- воздействие невесомости на рост и производство биопленок болезнетворными бактериями (Перу, Испания).

Помимо этого конкурса Китай развивает сотрудничество в области пилотируемой космонавтики с Европейским космическим агентством. Стороны согласовали список из 10 исследований, которые будут проводиться на Китайской космической станции.

НАЧАЛО ПОЛЕТА

Было время, когда начало строительства станции планировалось на 2018 г., однако в апреле 2017 г. был объявлен перенос на первую половину 2019 г., а в марте 2018 г. его сдвинули на 2020 г. Причина первого переноса не объяснялась, а второго – не требовала объяснения: после аварии ракеты CZ-5 во втором пуске в июле 2017 г. потребовалось кропотливое и долгое «лечение» китайского тяжелого носителя. К осени 2019 г. стало ясно, что старт «переползет» на весну 2021 г.

«Тяньхэ» предстояло запустить не на CZ-5, а на его варианте без верх-

ней ступени с отдельным обозначением CZ-5В. Полутораступенчатый носитель со стартовой массой 849 т при высоте 53.7 м имел грузоподъемность 25 т на низкую околоземную орбиту. На центральном блоке диаметром 5 м работали два кислородно-водородных ЖРД YF-77, а на каждом из четырех ускорителей – по два кислородно-керосиновых двигателя YF-100. Весь Базовый блок находился под обтекателем диаметром 5.2 м и длиной 20.5 м.

Носитель CZ-5В был успешно испытан 5 мая 2020 г. с космическим кораблем нового поколения, и после старта к Марсу в июле 2020 г. (ЗиВ № 5, 2020, с. 29–42) и полета за лунным грунтом в ноябре (ЗиВ № 1, 2021, с. 59–73) настал черед «Тяньгуна».

Старт состоялся 29 апреля в 11:22 пекинского времени (03:22 UTC). Выведение прошло успешно, и на 492-й секунде полета прошло отделение объекта на близкой к расчетной орбите наклонением 41.47° и высотой 171×382 км. После успешного разворачивания солнечных батарей запуск был признан успешным.

В течение первых суток полета станция выполнила серию маневров с подъемом до 352×385 км, а 11 мая провела коррекцию и поднялась до 360×385 км. Между этими событиями в основном уложились проверки систем «Тяньхэ» в полете; в частности, был запитан и опробован дистанционный манипулятор. 18 мая Канцелярия программы пилотируемой космонавтики Китая объявила, что Базовый блок завершил необходимые и готов к стыковке с грузовым кораблем «Тяньчжоу-2».

Старт грузовика планировался в ночь с 19 на 20 мая 2021 г., в 01:35 пекинского времени, однако за 20 минут до расчетного момента было объявлено об отмене пуска по техническим



Грузовой корабль «Тяньчжоу-2» готовится к старту

причинам и о переносе его на другой день. Вторая попытка 21 мая закончилась аналогично, и ракету с кораблем увезли со старта.

Как позднее стало известно, при заправке носителя была зарегистрирована утечка одного из компонентов. Проблемное место искали двое суток, затем потребовалось несколько дней на приведение ракеты в исходное состояние и на маневры Базового блока, подстраивавшего свое положение на орбите под новую дату старта.

29 мая в 20:55 пекинского времени (12:55 UTC) ракета CZ-7 стартовала с космодрома Вэньчан и вывела на орбиту грузовой корабль «Тяньчжоу-2» массой около 13 500 кг. Выполнив в автономном режиме предусмотренные маневры, 30 мая в 05:01 пекинского времени (29 мая в 21:01 UTC) корабль пристыковался к хвостовому узлу Базового блока «Тяньхэ».

На полках основного герметичного отсека «Тяньчжоу-2» прибытия пер-

вого экипажа дожидались 160 укладок с 4690 кг грузов примерно 200 наименований, в том числе припасы на трех космонавтов на три месяца, два выходных скафандра «Фэйтянь-2» и различное оборудование. В баках грузового корабля 1950 кг компонентов топлива зарезервировано для перекачки в баки «Тяньхэ».

17 июня в 09:23 по пекинскому времени (01:23 UTC) с космодрома Цзюцзянь был произведен пуск РН «Чанчжэн-2F» с пилотируемым космическим кораблем «Шэньчжоу-12» (神舟十二号, «Волшебный челн»). Корабль пилотировал экипаж в составе трех хантяньюаней (космонавтов): его командиром был генерал-майор профессионально-технической службы ВВС НОАК Не Хайшэн (командир), а членами экипажа – генерал-майор Лю Бомин и старший полковник Тан Хунбо.

Не Хайшэн и Лю Бомин были отобраны в китайский отряд космонавтов в 1998 году. Первый в октябре 2005 г.



Экипаж «Шэньчжоу-12» — первой экспедиции на космическую станцию "Тяньхэ".

совершил пятисуточный полет на «Шэньчжоу-6», а в июне 2013 г. – 14-суточный космический полет в качестве командира «Шэньчжоу-10» и космической лаборатории «Тяньгун-1». Второй был участником полета «Шэньчжоу-7» в сентябре 2008 г., в ходе которого совершил частичный выход в открытый космос. Третий член экипажа пришел в отряд со вторым набором в 2010 г. и отправился в космос впервые.

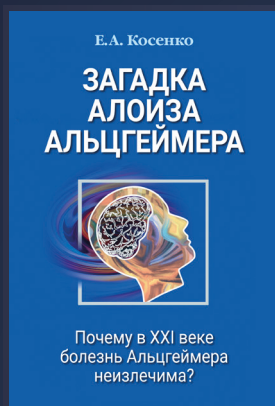
После выхода на орбиту «Шэньчжоу-12» выполнил в автономном режиме серию маневров сближения с целью и 17 июня в 15:54 пекинского времени успешно пристыковался к переднему узлу Базового блока «Тяньхэ». Через два витка, в 18:48, трое космонавтов поочередно перешли в Базовый блок и доложили Пекинскому центру

управления полетом, что приступили к работе на Китайской космической станции.

* * *

Существуют планы дальнейшего развития китайского орбитального комплекса. Если они будут одобрены, предстоит запустить второй Базовый модуль, уже изготовленный как дублер первого. Своим агрегатным отсеком второй «Тяньхэ» пристыкуется к узловому модулю первого. После этого на узловой отсек второго Базового блока «навешиваются» с боков два научно-экспериментальных модуля. Кроме того, в состав комплекса могут быть включены четыре внешние платформы для размещения крупных негерметичных полезных нагрузок, а количество солнечных батарей будет увеличено.

С новыми книгами
Издательства “Наука”
вы можете ознакомиться на сайте
naukabooks.ru



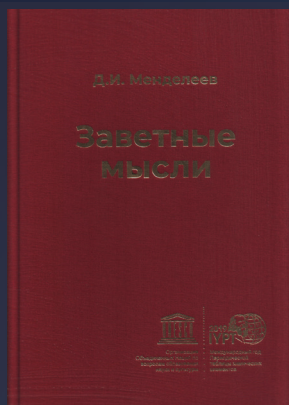
Косенко Е.А.

Загадка Алоиза Альцгеймера. Почему в XXI в. болезнь Альцгеймера неизлечима?

М.: Наука, 2019. — 319 с.

В монографии изложена актуальнейшая на сегодняшний день медико-биологическая проблема, связанная с болезнью Альцгеймера (БА), и предпринята попытка ответить на вопрос: почему заболевание, известное с начала XX в. и на изучение которого тратятся триллионы долларов, в настоящее время все еще остается неизлечимым, а имеющиеся антиамилоидные препараты приносят больше вреда, чем пользы? Для объяснения механизмов, лежащих в основе нейродегенерации при БА, формулируется «эритроцитарная гипотеза», согласно которой эритроциты рассматриваются не просто как клетки, переносящие кислород, а как клетки, от эндогенного метаболизма которых зависит адекватная доставка кислорода в ткани, и в частности в мозг. Именно функциональное несоответствие между эритроцитами и биоэнергетикой мозга, считает автор, лежит в основе гибели нейронов.

Книга может быть интересна широкому кругу читателей – студентам, обучающимся по специальностям «биология», «биомедицина», а также физиологам, биохимикам научно-исследовательских лабораторий, преподавателям высших образовательных медицинских и биологических учреждений.



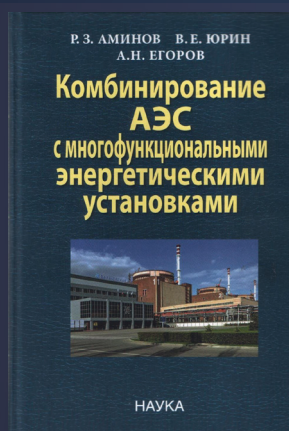
Менделеев Д.И.

Заветные мысли.

М.: Наука, 2019. — 310 с.

Д.И. Менделеев в работе «Заветные мысли» рассуждает о желательных, на его взгляд, путях развития России в геополитической, экономической и научной областях. Круг анализируемых ученым вопросов чрезвычайно широк: государственное устройство, образование, народонаселение, внешняя торговля, взаимосвязь между просвещением и национальным богатством, баланс между промышленностью и сельским хозяйством и т.д. По существу, «Заветные мысли» – духовное завещание Д.И. Менделеева потомкам.

Для широкого круга читателей.



Аминов Р.З., Юрин В.Е., Егоров А.Н.

Комбинирование АЭС с многофункциональными энергетическими установками.

М.: Наука, 2018. — 238 с.

В работе предложен новый взгляд на повышение безопасности АЭС. Разработаны и исследованы многофункциональные системы, включающие такие установки, как дополнительная паровая турбина, тепловые аккумуляторы, водородный комплекс и газотурбинные установки, позволяющие обеспечить надежное электроснабжение собственных нужд АЭС в аварийных ситуациях с обесточиванием. Исследован способ использования остаточного тепловыделения реакторов типа ВВЭР для генерации электроэнергии, необходимой для отвода остаточного тепловыделения в аварийных ситуациях с полным обесточиванием. Разработана система уравнений и построены скелетные таблицы свойств диссоциированного водяного пара, которые позволяют проводить промышленные термодинамические расчеты параметров рабочего тела водородных циклов. Исследованы процессы сжигания водорода в кислородной среде, а также определены ресурсные показатели основного оборудования водородного энергокомплекса, работающего в циклических режимах.

Для научных работников, специалистов, аспирантов, студентов старших курсов теплоэнергетических специальностей.

naukabooks.ru

НОВЫЙ АСТРОНОМИЧЕСКИЙ ЦЕНТР ГАИШ МГУ: КАВКАЗСКАЯ ГОРНАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ

ШАТСКИЙ Николай Иванович,

кандидат физико-математических наук, начальник Кавказской горной обсерватории

ТАТАРНИКОВ Андрей Михайлович,

кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник

КОРНИЛОВ Виктор Геральдович,

кандидат физико-математических наук, заведующий лабораторией

ПОТАНИН Сергей Александрович,

кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник

ЧЕРЕПАЩУК Анатолий Михайлович,

академик РАН, научный руководитель

БЕЛИНСКИЙ Александр Александрович,

кандидат физико-математических наук, заместитель директора

ПОСТНОВ Константин Александрович,

доктор физико-математических наук, директор

Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга, МГУ

DOI: 10.7868/5004439482104006X

В декабре 2019 г. исполнилось 5 лет со дня официального открытия новой российской обсерватории – Кавказской горной обсерватории ГАИШ МГУ. В статье рассказано об истории строительства и устройстве обсерватории, ее главном инструменте – 2.5-м телескопе и его навесном оборудовании, первых полученных результатах.

ИСТОРИЧЕСКОЕ ВВЕДЕНИЕ

К началу 1990-х годов XX века Государственный астрономический институт имени П.К. Штернберга (ГАИШ МГУ) обладал тремя действующими обсерваториями, расположенными в местах с хорошим астроклиматом. Две но-

вые среднеазиатские высокогорные обсерватории, на горе Майданак (высота 2650 м н.у.м.) и под Алма-Атой (2800 м), были введены в строй за несколько лет до распада СССР и вскоре национализированы новыми независимыми государствами, Узбекистаном и Казахстаном. У института осталась лишь Крымская станция, расположенная в п. Научный Бахчисарайского района республики, по соседству с Крымской астрофизической обсерваторией.

Потеря двух современных обсерваторий нанесла большой удар по наблюдательным программам ГАИШ: в распоряжении института остались лишь пять небольших (с диаметром объектива от 40 до 125 см) телескопов в Крыму и один 70-см телескоп в Москве.



Рис. 1. Первое PR-фото

На фоне общего распада и потери престижа научных исследований в стране, это привело к тому, что была в значительной мере утрачена динамика развития ГАИШ в таких областях, как прецизионная звездная фотометрия, внедрение наблюдений с ПЗС-приемниками, спектрометрия лучевых скоростей высокой точности, наблюдения с высоким угловым разрешением.

Однако время не стояло на месте, и в начале 2000-х годов уже XXI века благодаря усилиям созданной при дирекции ГАИШ инициативной группы (прежде всего заместителя директора Е.К. Шеффера, директора А.М. Черепашука и заведующего лаборатории новых фотометрических методов В.Г. Корнилова) в ГАИШ начали прорабатываться варианты создания новой обсерватории. Определялись основные задачи, выбирались конфигурация и параметры основного инструмента, возможный поставщик, место расположения и т.п. В итоге на основе старых

наблюдений и под влиянием экономических факторов, не оставивших практически никакой альтернативы, место для обсерватории было выбрано вблизи работающей с 1940-х гг. Горной астрономической (корональной) станции ГАО РАН. Произошло это еще в 2002 г., хотя дискуссии о возможности выбора другого места продолжались еще несколько лет.

В реализации планов помогло празднование крупного юбилея – в 2005 г. исполнилось 250 лет со дня образования Московского университета. По инициативе ГАИШ ректор МГУ академик В.А. Садовничий, министр науки и образования РФ А.А. Фурсенко и президент РАН Ю.С. Осипов обратились в правительство РФ с просьбой выделить средства на строительство современного телескопа на территории России с целью обеспечить Московский Университет новой базой для развития экспериментальных астрономических исследований и обучения студентов и аспирантов Астрономического отделения физического факультета МГУ. Момент оказался удачный и деньги были выделены, а в 2006 г. были окончательно определены параметры телескопа и выбран подрядчик для строительства нового 2.5-метрового телескопа – известная французская фирма SAGEM-REOSC. Была выделена территория для строительства обсерватории в Карачаево-Черкессии – урочище Шатджатмаз в 20 км к югу от г. Кисловодск, где в следующем году началась реализация программы астроклиматических исследований для уточнения параметров выбранного места.

По первоначальному плану строительство телескопа должно было завершиться установкой инструмента к 2010 году. Однако нараставший экономический кризис затормозил как создание инструмента во Франции, так и строительство обсерватории на



Рис. 2. КГО зимой 2020 г.

Кавказе. Изготовление оптики и механики телескопа закончилось только в конце 2011 г., при этом для изготовления монтировки генеральный подрядчик был вынужден выбрать китайскую фирму вместе первоначально планировавшейся европейской. Строительство же основных зданий обсерватории началось в июле 2011 г. И лишь в августе следующего года башня телескопа была готова к установке купола.

Монтаж главного инструмента обсерватории был выполнен с апреля 2013 по май 2014 г., когда была установлена оптика и началась наладка электромеханики монтировки. Задержавшаяся более чем на полгода перевозка инструмента из Китая и негерметичная упаковка контейнеров привели к существенным повреждениям его конструкции коррозией, ликвидация которых потребовала кропотливой работы и задержала пуско-наладочные работы. Поэтому телескоп оказался готов к началу испытательной фазы эксплуатации лишь к ноябрю 2014 г.,

когда были получены первые научные данные и закончилась подготовка инфраструктуры обсерватории к работе. Лишь после экспериментального подтверждения, что инструмент, прошедший столь серьезные испытания, способен давать изображения хорошего оптического качества, 13 декабря 2014 г. Кавказская горная обсерватория ГАИШ МГУ была официально открыта.

ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОБСЕРВАТОРИИ

Новая наблюдательная база ГАИШ создавалась как замена утраченным в 1990-е гг. астрономическим станциям с целью выполнения традиционных для ГАИШ наблюдательных программ. Одновременно ее появление должно было стимулировать развитие экспериментальной астрономии на новом уровне, с учетом изменившихся за последнее десятилетие акцентов в астрофизике и необходимости более



Рис. 3. Доставка частей монтировки телескопа

тесно интегрироваться в международный исследовательский процесс. Современные многоцелевые инструменты должны способствовать росту производительности наблюдений за счет применения технологий дистанционных, сервисных и автоматизированных наблюдений. Для этого при заказе и конструировании нового оборудования должны привлекаться технологии и разработки последнего поколения, ведь итог разработки должен был удовлетворить многолетний «наблюдатель-

ный голод» в университетской астрономии, принося как новые данные по темам работы института, так и возможность быстро реагировать на появление новых направлений и объектов исследования. Получаемые качественные данные наблюдений в комбинации с публично доступной информацией интернет-ресурсов, использованием технологий синхронных наблюдений, «виртуальной обсерватории» и новейших об-

зоров и каталогов были призваны дать мощный импульс отечественным и совместным исследованиям, увеличить публикационную активность российских ученых и престиж отечественной науки, приостановить отток научных кадров.

Вместе с тем МГУ – это прежде всего учебный научный центр. Поэтому приоритетом в его работе является участие в научных и учебно-научных исследованиях студентов и аспирантов астрономического отделения МГУ, а также

и других учебных заведений в рамках совместных с МГУ программ. Кавказская обсерватория призвана стать базой Университета для подготовки курсовых и дипломных работ, сезонных учебных практик, оперативным инструментом удаленных наблюдений в работе в течение учебного года. На такой базе должны быть созданы все условия для проведения как начальных ознакомительных курсов и обзорных мероприятий в астрономическом обра-

Рис. 4. Астроклиматический пост



зовании, так и непосредственной работы обучающихся на профессиональном оборудовании в ходе производственной практики и далее – в рамках их узкой специализации в ходе работы с научными руководителями.

Именно акцент на создании астрономического центра с широким вовлечением учащихся, с возможностью проведения учебных и научных встреч, конференций и школ позволил добиться выделения требуемого финансирования и дал жизнь проекту КГО ГАИШ МГУ. Поэтому и место размещения будущей наблюдательной базы было выбрано в пределах Российской Федерации (а не в более выгодных в плане астроклиматических условиях регионах, например, Канарских островах).

Расположение обсерватории в близкодоступном районе с благоприятной экологической обстановкой, чистой атмосферой, расположенными неподалеку разнообразными природными и культурными ресурсами и курортами делает ее выгодным местом для проведения образовательных мероприятий более широкого охвата, нежели вузовская наука. Проведение научных школ и конференций всероссийского и международного масштаба, междисциплинарных мероприятий также является немаловажной сферой деятельности общенаучного плана, ведь обсерватория расположена в географически весьма интересном и примечательном месте. Перед ней стоит и просветительская задача с разработкой научно-популярных программ для широкой общественности, молодежи. Традиционно повышенное внимание региональных средств массовой информации к таким



Рис. 5. Монтаж купола

центрам может быть использовано для привлечения внимания самых широких масс к проблемам науки, экологии и культуры, повышения образовательного уровня нации в целом. Такова «миссия» КГО в широком смысле.

И все же главным стержнем развития обсерватории является совокупность астрономических и геофизических дисциплин. Научные задачи, которые в момент ее создания и в настоящий период имеют высокую динамику развития и актуальность для разработки на КГО, охватывают такие темы:

- Звездная фотометрия объектов Галактики и ближайших галактик (нормальные и пекулярные звезды, новоподобные и взрывные переменные, звезды с аномальным химическим составом и др.);
- Поверхностная фотометрия галактик (исследование областей звездообразования, спиральной структуры, картирование в узких эмиссионных линиях и др.);
- Наземная поддержка российских и международных космических программ (проекты РАДИОАСТРОН, Спектр-РГ, Спектр-УФ, МИЛЛИМЕТРОН, GAIA, Nustar и др.);



Рис. 6. Монтаж купола

- Спектроскопия низкого разрешения нестационарных объектов Галактики, активных ядер других галактик, оптических транзиентов разной природы, астероидов и др.;

- Инфракрасная фотометрия и спектроскопия звезд до главной последовательности, звезд на поздних стадиях эволюции, сверхновых звезд, рентгеновских двойных и др.;

- Оптическая спектроскопия высокого спектрального разрешения: химическое строение звезд, химическая эволюция Галактики; исследование спектральной кратности и определение орбит компонентов звездных систем; исследование профилей линий нестационарных объектов; поиск и наблюдения экзопланет; астросейсмология;

- Поляриметрические исследования звезд и околозвездного вещества в дисках и оболочках, исследования межзвездной пыли;

- Исследования с высоким угловым разрешением (тесные двойные звезд-

ные системы и астероиды, пылевые оболочки звезд, активные ядра галактик): спекл-интерферометрия и спекл-поляриметрия, адаптивная оптика, полярострометрия и спектроастрометрия;

- Исследования в области геодинамики и гравиметрии;

- Прикладные исследования (мониторинг ИСЗ, лазерная дальнометрия, астероидная опасность и т.п.).

Для решения этих задач нужны многоплановые средства наблюдений, поэтому на первых этапах формирования концепции новой обсерватории стала очевидной необходимость создания универсального главного инструмента и соответствующего парка навесной аппаратуры, чтобы обеспечить требуемую эффективность измерений при умеренной частоте ясной погоды в условиях Северного Кавказа. Этот инструмент должен быть пригоден как для учебных и экспериментальных работ, так и для рутинных измерений и мониторинговых задач, являющихся нишей телескопов умеренного размера. Эффективность работы планировалось повысить и гибким планированием наблюдений, чтобы наиболее рационально использовать атмосферные условия, складывающиеся в текущий момент.

В книге А.М. Черепашука «Жизнь астронома», изд-во МГУ, 2014 г., можно найти целый ряд других интересных подробностей создания Кавказской горной обсерватории.

ХАРАКТЕРИСТИКА КГО КАК ПУНКТА АСТРОНОМИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ

Кавказская обсерватория МГУ расположена в 20 км к югу от Кисловодска, фактически на границе заселенного курортного региона Северного Кавказа с наличием дорог и электроснабжения и более «дикого» предгорья, прос-

тирающегося от Скалистого до Главного Кавказского хребта. Выделенный местными властями для строительства обсерватории земельный участок площадью 8.7 га находится в интервале высотных отметок 2060–2116 м, для установки главного инструмента была выбрана площадка с географическими координатами $43^{\circ}44'10''$ с.ш., $42^{\circ}40'03''$ в.д. недалеко от вершины горы Шатджатаз. На выбор этого места немало повлиял и более чем полувековой опыт проведения здесь корональных наблюдений сотрудниками Кисловодской солнечной станции ГАО РАН. Поэтому последующие результаты начатого здесь ГАИШ в 2007 г. многолетнего мониторинга разнообразных атмосферных параметров (оптическая турбулентность, прозрачность атмосферы, уровень фона и частота ясной погоды) были на качественном уровне вполне ожидаемы.

Задачей астроклиматических измерений выбранного места было дать количественные оценки наиболее важных параметров: статистики ясной погоды, метеоусловий (температура, ветер, влажность) и характеристик оптической турбулентности (зависимость ее интенсивности от высоты и полный ее интеграл, определяющий качество изображений). Такие данные важны для правильного выбора параметров навесной аппаратуры телескопа и планирования исследований, ведь это главные факторы, определяющие эффективность телескопических наблюдений звезд и протяженных источников.

По результатам первых трех лет измерений

на КГО, а также многочисленных астроклиматических кампаний, прошедших в других уголках планеты в 2000-е гг. в поисках мест установки сверхбольших телескопов, в октябре 2010 г. в Кисловодске и на горе, на месте будущего строительства, была проведена международная конференция, посвященная памяти известного московского астронома П.В. Щеглова. Организованное Лабораторией новых фотометрических методов, это событие де факто признало ГАИШ и его зарождающуюся обсерваторию одним из ведущих центров по разработке и внедрению современных методик астроклиматических исследований. С тех пор наблюдения турбулентности продолжают здесь практически непрерывно более десяти лет, так что полученная статистика не только надежна, но и является одной из наиболее представительных в мире.

Рис. 7. Распределение качества изображений (квадраты; отрезки и пунктирные линии представляют 25% и 75% квантили помесечных и общего распределений) и относительные доли ясного ночного неба (гистограмма, ось справа) по месяцам за 2008–2013 гг.

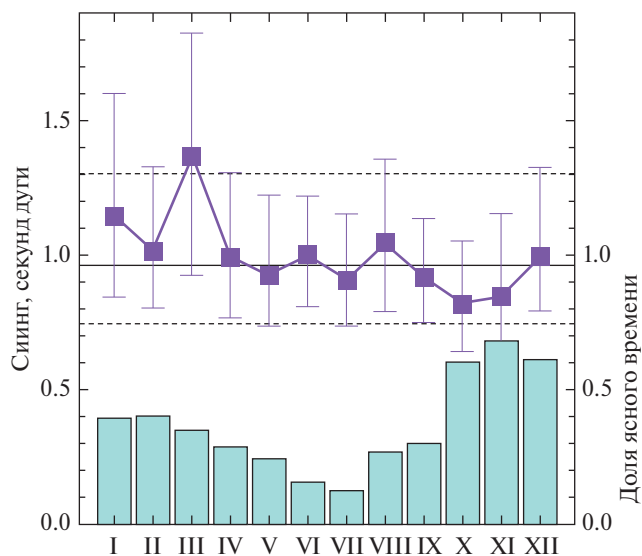




Рис. 8. Интервью на строительной площадке

Основные итоговые характеристики места, выведенные за первые пять лет измерений, таковы:

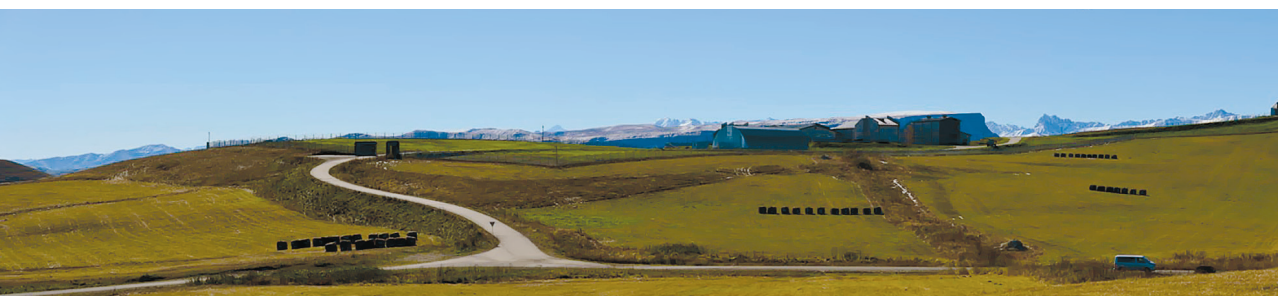
- доля ясного ночного неба составляет порядка 45% или около 1330 часов в год;
- качество изображения (т.н. «сиинг» – полуширина длинноэкспозиционных изображений точечных источников при наблюдениях с крупным безаберрационным телескопом) составляет $0.96''$ в медиане и около $0.81''$ в смысле моды распределения;
- скорость ветра в ночное время при ясной погоде составляет около 2.3 м/с (медиана); направление преимущественно с юго-востока или запада;

- уровень засветки неба соответствует медианному зенитному фону в полосе V около 21^m с квадратной угловой секунды;

- средняя относительная влажность (RH) колеблется в пределах от 80% в летний период до 60% в зимний, а соответствующий диапазон высот столба осаждаемой воды (PWV) составляет от 25 до 4 мм. Медианное значение PWV в ясные ночи равно 7.8 мм, что вполне допустимо для инфракрасных наблюдений слабых источников.

Долю фотометрической погоды, т. е. условий, пригодных для проведения высокоточных фотометрических наблюдений, от общего ясного неба оценить сложнее в силу отсутствия общепринятых строгих критериев. Консервативная оценка составляет не более 40%, при этом коэффициент экстинкции в полосе V около 0.20. Вместе с тем такие параметры, как *изопланатический угол* (угловой размер площадки на небе, в которой возможна полная компенсация атмосферных искажений) и *атмосферное время когерентности* (характерное время жизни спеклов) составляют около 2.1 секунд дуги и 7 миллисекунд

Рис. 9. Панорама (30 000*3500 пикс), вид на обсерваторию и Эльбрус



времени соответственно, т. е. весьма хороши. Они ставят гору Шатджатмаз в основной наблюдательный осенне-зимний период в один ряд с ведущими обсерваториями мира по применимости систем адаптивной оптики и делают наблюдения с высоким угловым разрешением весьма перспективной областью для развития на КГО.

СОСТАВ ИНФРАСТРУКТУРЫ ОБСЕРВАТОРИИ

Согласно ведущей идее проекта, появление новой наблюдательной базы МГУ подразумевало не просто установку относительно крупного инструмента, а создание многозадачного учебно-научного центра. Территория КГО является частью научного кластера, располагаясь по соседству с ГАС ГАО, которая в первые годы являлась незаменимой опорной базой ГАИШ в работах на г. Шатджатмаз. По близости также находятся станция Института физики атмосферы им. Обухова, метеостанция Шаджатмаз Росгидромета и наблюдательная база института прикладной математики им. Келдыша. Огороженный участок занимает узкую полосу размером порядка 150×600 м вдоль северо-восточного хребта вершины Шатджатмаз и условно поделен на две зоны: нижнюю административно-хозяйственную и располагающуюся ближе к вершине горы научную площадку, чтобы хозяйственная деятель-

ность не мешала проведению измерений (в т.ч. и гравиметрических).

Научная площадка представлена башней 2.5-м телескопа, астроклиматическим комплексом в 40 м на юго-запад от нее, четырьмя астрономическими павильонами и полузаглубленной гравиметрической лабораторией. Павильоны предназначены для размещения телескопов с апертурой до 1 м как на экваториальных, так и на альт-азимутальных монтировках. На двух из них в 2018–2019 гг. были установлены пятиметровые купола и смонтированы небольшие автоматизированные фотометрические телескопы. В гравлаборатории устроены три виброизолированных фундамента для установки гравиметров, имеющие, как показали неоднократные измерения, превосходные шумовые характеристики, и система тамбуров для обеспечения термостабилизации. На территории научной части обсерватории есть резерв для размещения еще нескольких научных установок, например, радиоантенн системы РСДБ и нескольких телескопов среднего размера.

Башня 2.5-метрового телескопа двухэтажная, с подвалом и виброразвязанным пилоном. В теплоизолированной пристройке с северной стороны находятся помещение наблюдателей (операторская), серверная и венткамера (с оборудованием вытяжной вентиляции и кондиционирования воздуха подкупольного помещения для поддержания инструмента при ночной температуре в нерабочее время). Помещение





Рис. 10. Панорама (4400*4400 пикс), вид на обсерваторию

телескопа на втором этаже оборудовано классическим вращающимся (створчатым) теплоизолированным куполом фирмы Gambato SAS (Италия) с внутренним диаметром 10 м; ворота на крышу пристройки позволяют вывозить из-под купола по рельсам главное зеркало для последующей транспортировки на перенапыление отражающего слоя, а во время наблюдений эффективно проветривать купол.

На нижней (хозяйственной) площадке обсерватории расположено несколько зданий: дом наблюдателей, административный и технический корпуса, гостиница и гараж. В техническом корпусе размещены: оптическая и электронная лаборатории, механическая и оптическая мастерские со станочным парком, цех с вакуумной магнетронной установкой для осаждения алюминиевых и серебряных защищенных покрытий на зеркала до 2.55 м в диаметре, а также вычислительный центр. Гости-

ница с лекционным залом может принять до сотни человек. Общая площадь строений обсерватории около 4200 кв. м, лишь немного меньше площади основного здания ГАИШ на Ленинских горах.

Таким образом, в обсерватории предусмотрено все необходимое как для проведения учебных и научных мероприятий, так и для обслуживания телескопов и другого оборудования для научных исследований. С момента открытия на обсерватории прошла астрономическая конференция «Современная звездная астрономия-2016», проводятся ежегодные студенческие практики астрономиче-

ского отделения физического факультета МГУ, мероприятия для школьников (подготовка к астрономическим олимпиадам национального и международного уровня, выездные школы кружков и др.).

СЕРДЦЕ ОБСЕРВАТОРИИ – 2.5-М ТЕЛЕСКОП

Основные характеристики. Главный инструмент обсерватории представляет собой рефлектор системы Ричи-Кретьена, оптика которого целиком изготавливалась на предприятии SAGEM-REOSC (основанном в 1937 г. самим Анри Кретьеном). Альт-азимутальная монтировка телескопа была разработана и изготовлена по проекту REOSC Нанкинским институтом астрономической оптики и технологии (NIAOT, Китай). Это вилочная конструкция типа «монокок» на масляном азимуталь-

ном гидростатическом подшипнике, несущая трубу в виде усеченной конструкции Серрюрье, в которой оправа 2.5-м зеркала крепится непосредственно к среднику. Выпуклое вторичное зеркало в оправе закреплено на спайдере через 5-координатный управляемый подвес. К задней стороне оправы главного зеркала привинчен узел третичного зеркала МЗ, позволяющий направлять свет в один из фокусов Несмита в полых осях высоты или в дополнительных портах средника; также можно выдвинуть зеркало из пучка для работы в фокусе Кассегрена. Смена фокусов и режимов работы телескопа занимает сейчас не более минуты. Снизу узла МЗ пристыкован узел Кассегрена (С1), представляющий собой деротатор поля зрения со встроенным в него узлом внеосевого автоматического гидирования.

На перьях вилки закреплены два балкона для обслуживания аппаратуры в фокусах Нэсмит-1 и -2. Фокус Нэсмит-1, как и С1, снабжен механическим деротатором и автогидом, а в более компактный ротатор фокуса Нэсмит-2 можно установить небольшие приборы или оптический деротатор для питания неподвижной аппаратуры, смонтированной на цапфе оси высоты. Также в портах С1 и N1 можно установить трехлинзовый кварцевый корректор широкого поля системы Винна, чтобы расширить безаберрационное поле зрения с $10'$ до $40''$. Для обслуживания оборудования и телескопа под куполом имеется консольный 1-тонный кран.

Оптика изготовлена из материалов с низким или нулевым коэффициентом теплового расширения. Главное зеркало из стеклокерамики Zerodur (Шотт, Германия) имеет толщину 25 см на краю и разгружено на 3 радиальные и 27 осевые опоры. Кварцевое 875-миллиметровое вторичное зеркало висит



Рис. 11. Монтаж поворотного стола телескопа

на рычажной 12-точечной системе. Оправы всех зеркал разработаны в REOSC, и расчет качества изображений учитывал в бюджете ошибок их влияние. Требование по итоговому качеству изображений диктовалось хорошими астроклиматическими характеристиками КГО: согласно техническому заданию 80% энергии, приходящей от звезды, должно собираться в кружке диаметром $0.3''$ в фокусе С1 и $0.4''$ при использовании корректора широкого поля и зеркала Нэсмита, при любой высоте объекта над горизонтом (без учета атмосферы). Эти характеристики были успешно реализованы настройкой и приемочными испытаниями оптики к октябрю 2015 г.

Телескоп специфицирован для наведения на объект со скоростью до 3 градусов в секунду и его сопровождения с точностью не хуже $0.2''$ в смысле стандартного отклонения. Купол вращается

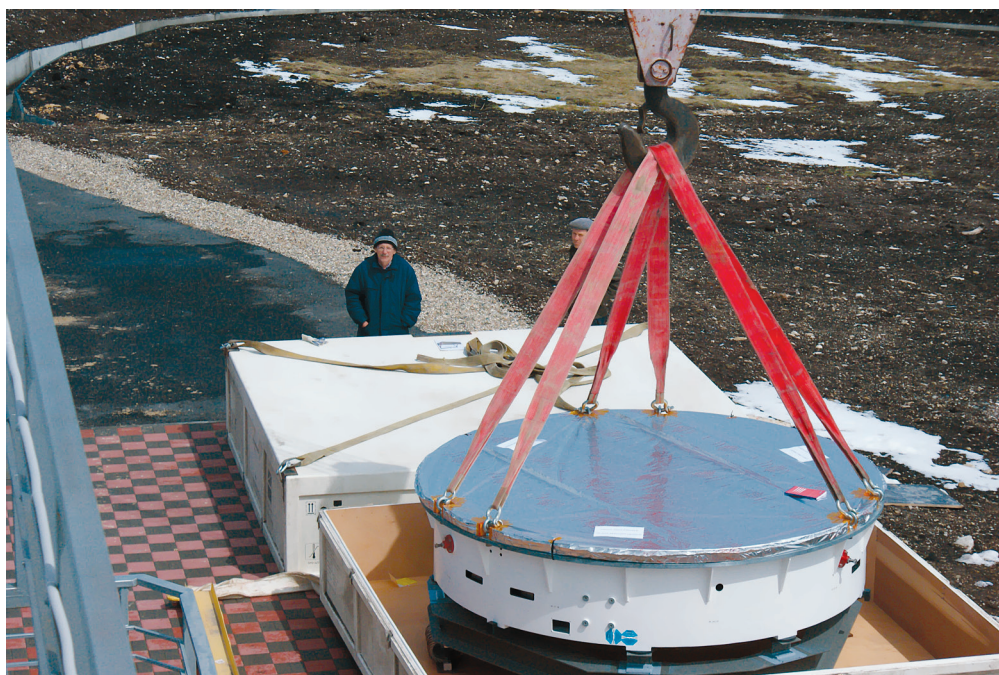


Рис. 12. Монтаж оправы главного зеркала (зеркало под пленкой)

синхронно с монтировкой; для контроля обстановки около астроклиматического поста установлена метеостанция фирмы Vaisala.

Система управления. Телескоп работает под управлением автоматизированной системы, размещенной в серверной башне телескопа. Основа системы – моментные двигатели фирмы ETEL (Швейцария), установленные без редукторов прямо на основные оси телескопа (один по азимуту и два по высоте). Оси азимута и высоты вместе с одним из трех деротаторов управляются многоосевым контроллером движения PMAC2 производства DeltaTau/Omron (США–Япония). Дополнительные оси телескопа – пять подвижек зеркала М2, три подвижки зеркала М3 и два его противовеса, два двухкоординатных узла автогидирования фокусов С1 и N1 и привод крышки главного зеркала – приводятся в действие серводвига-

телями и к настоящему времени для повышения надежности работы выделены в автономную распределенную систему управления. Список аппаратуры замыкают расставленные на монтировке температурные датчики для контроля терморежима оптики и автоматической коррекции положения фокуса.

Система управления в первоначальном исполнении фирмы NIAOT не смогла пройти приемочные испытания в ноябре 2015 г. из-за ряда существенных недочетов аппаратной и программной частей как принципиального плана, так и в смысле качества исполнения. Неудовлетворительные характеристики наведения и сопровождения объектов монтировкой, а также перманентные сбои в аппаратной части не позволили ввести телескоп в эксплуатацию в запланированные подрядчиком сроки. В итоге генеральным поставщиком телескопа и командой разработчиков

ГАИШ было принято решение о самостоятельной разработке новой системы управления, реализация которой началась в середине 2017 г. Работа по созданию нового комплекса управления пятью главными осями монтировки в течение последних полутора лет была выполнена московской фирмой ООО «Сервотехника». В конце 2019 г. были завершены работы над аппаратной частью, а летом 2021 г. завершается разработка всего комплекса программного обеспечения.

Навесная аппаратура. Штатная аппаратура телескопа является ключевым элементом обсерватории, без которой невозможно проводить исследования даже с самым передовым по характеристикам телескопом. Поэтому работы по заказу и изготовлению приборов были начаты одновременно с изготовлением главного инструмента КГО. Состав аппаратуры «первого поколения» включает сейчас такие системы наблюдений:

1. **NBI-camera:** оптический ПЗС-фотометр на основе мозаичной камеры с двумя приемниками модели E2V4482 формата $2K \times 4K$ (поле зрения $10' \times 10'$), с комплектом широкополосных фильтров систем UBVRcIc и SDSS и узкополосных на линии водорода, кислорода, серы и их «континуумы». Предназначен для широкого круга фотометрических задач звездной и внегалактической астрономии, установлен в фокусе C1. Изготовлен Институтом Нильса Бора (NBI, Копенгаген);

2. **ASTRONIRCAM:** инфракрасная камера-спектрограф на основе детектора HAWAII-2RG формата $2K \times 2K$ с комплектом широкополосных J, H, K, Ks и ряда узкополосных фильтров и спектральным режимом с разрешающей силой до $R = 1300$. Предназначена для фотометрических и спектроскопических исследований широкого круга объектов. Поле зрения $4.6' \times 4.6'$, фокус N1. Изготовлена гавайской фирмой Mauna Kea



Рис. 13. 2.5-м телескоп в процессе приемки

Infrared, LLC, США, и появилась в ГАИШ во многом благодаря усилиям старшего научного сотрудника А.Э. Наджипа и зам. директора по науке С.А. Ламзина.

3. **SPECPOL:** многозадачный инструмент, разработанный в ГАИШ и представляющий собой комбинацию двухлучевого поляриметра и спекл-интерферометра на базе ПЗС-камеры с электронным усилением Andor iXon-897. Прибор предназначен для реализации быстрой фотометрии (временное разрешение 1 мс), прецизионной поляриметрии полного потока, спекл-интерферометрии и разработанного в ГАИШ метода дифференциальной спекл-поляриметрии. Последний позволяет исследовать околосветные оболочки в видимом диапазоне с дифракционным разрешением, что весьма актуально для изучения протопланетных дисков молодых звезд и пылевых оболочек звезд на поздних стадиях эволюции. Поле зрения $5'' \times 10''$, фокус N2.



Рис. 14. Ректор МГУ В.А. Садовничий и президент КЧР Р.Б. Темрезов на открытии обсерватории (2014 г.)



Рис. 15. В операторской телескопа (на открытии обсерватории)

4. MaNGaL: картировщик галактических эмиссионных линий (фотометр с перестраиваемым фильтром) на основе сканирующего интерферометра Фабри-Перо и ПЗС-камеры Andor iKon-M формата $1K \times 1K$. Предназначен для поверхностной фотометрии в узком спектральном диапазоне протяженных галактических и внегалактических объектов. В отличие от «традиционной» фотометрии в светофильтрах с фиксированной полосой пропускания, MaNGaL позволяет точно настроиться на длину волны излучения на разных красных смещениях, что обеспечивает высокий контраст получаемых изображений. А относительно узкая (шириной около 1.5 нм) полоса пропускания интерферометра позволяет разделять близкие по длинам волн спектральные линии, по которым выполняется диагностика состояния горячей плазмы. Это позволяет измерять распределение в поле зрения таких важных параметров, как электронная плотность газа и величина внутреннего пылевого поглощения. Прибор построен в САО РАН и эксплуатируется совместно с ГАИШ МГУ на 2.5-м телескопе в фокусе N2.

5. TDS: Двухплечевой Транзиентный Спектрограф – спектрограф низкого разрешения $R = 1500\text{--}3000$ на основе голографических решеток с объемной фазой (VRH), дихроичного делителя света на каналы с длинами волн 350–570 и 570–740 нм и двух ПЗС-камер Andor Newton-940P формата 512×2048 . Длина щели 3'. Прибор изготовлен в ГАИШ (полностью введен в строй в декабре 2019 г.) для задач по спектроскопии слабых и транзиентных объектов как постоянно работающий (дежурный) инструмент в фокусе C1 (отбор света от NBI-камеры в него выполняется вводящимся диагональным зеркалом).

Планируется также постройка спектрографа высокого разрешения, для

которого в настоящее время начинается принципиальная разработка на основе выработанного научно-технического задания.

Как видно, парк одновременно установленной навесной аппаратуры весьма многообразен и даже может показаться избыточным для телескопа такого среднего размера как 2.5 метра. Это следствие как перечисленных в начале статьи научных задач, так и желания скомпенсировать известный дисбаланс загруженности телескопа: вследствие переменной погоды определенный род задач неэффективно решать в режиме предварительного выделения для них наблюдательного времени. Так, в частично облачную погоду с посредственными изображениями можно получать качественные данные только для спектроскопии высокого разрешения и ярких звезд. В то же время тратить ночи с субсекундным качеством изображения на такие задачи неэффективно, поскольку только такая погода пригодна для астрономии высокого углового разрешения. Поэтому в условиях переменной качества изображений и прозрачности для максимально эффективного использования наблюдательного времени требуется одновременная готовность научной аппаратуры, работающей в разных режимах измерений. Для этого приборы размещаются в разных фокальных станциях и организуется гибкое планирование наблюдений, когда время динамически выделяется под определенный класс задач по подготовленному на сезон списку объектов, но ночи заранее не закреплены за конкретными заявителями. На такую идеологию ориентирована и практика исследований на КГО.

Как можно заметить, почти все приборы, установленные или планируемые к установке на телескопе, не являются конкурентами за размещение в какой-то фокальной станции. Это



Рис. 16. Промежуточная приемка оптики. В.Г. Корнилов, С.А. Потанин (ГАИШ) и И.В. Безсуднов (МАНЭГ)

демонстрирует возможность реализации описанной выше гибкой системы планирования наблюдений и, в частности, решения задач по регулярным наблюдениям транзиентных явлений, таких как вспышки сверхновых, гамма-всплески и т. п., без ущерба программам плановых наблюдений. На сокращение времени перехода между различными задачами и была направлена, в частности, работа по модернизации системы управления и комплекса программного обеспечения телескопа.

ПЕРВЫЕ НАУЧНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Первые научные исследования, проведенные на обсерватории с 2.5-м телескопом за пятилетний срок, в который значительную часть времени пришлось

потратить на ремонтные и наладочные работы, охватили очень широкий класс астрономических объектов – от тел Солнечной системы до активных ядер галактик. К концу этого периода были задействованы все перечисленные выше штатные приборы телескопа, в самых разных режимах работы. Практически все результаты наблюдений оказались востребованными, по ним быстро выходят публикации в научных журналах, делаются доклады на российских и международных конференциях.

Первая статья, опубликованная по результатам наблюдений на 2.5-м телескопе КГО, называлась *Resolved photometry of the binary components of RW Aur*. В журнальном варианте она вышла в 2015 г., но на сайте e-print'ов она появилась уже в декабре 2014 г. Статья посвящена фотометрическим исследова-

ниям известной двойной системы, состоящей из двух звезд типа Т Тельца (см. статью С.А. Ламзина «Звезды типа Т Тельца», *ЗиВ*, 2018, № 1, с. 23). Расстояние между компонентами на небе всего $1.4''$. Хорошие астроклиматические условия и отличная оптика телескопа позволили надежно разделить компоненты и провести их раздельную фотометрию в фазе затмения компонента А пылевым экраном.

Позднее были проведены комплексные исследования этого интересного объекта с использованием оптического и инфракрасного фотометров, а также спекл-поляриметра. Наблюдения проводились с использованием различных светофильтров, в том числе узкополосных. Всю совокупность фотометрических и поляриметрических наблюдений одного из компонентов этой двойной – молодой звезды RW Aur A, полученных в период глубоких ослаблений ее блеска, можно объяснить, предположив, что затмения вызывает пыль, поднимаемую ветром, «дующим» с поверхности протопланетного диска. Поднятая ветром пыль образует оболочку, которая не только поглощает излучение самой звезды, но и рассеивает его.

По результатам наблюдений окрестностей RW Aur в узкополосных фильтрах (центрированных на линии излучения водорода, ионизованных серы и железа) в оптическом и ИК-диапазонах удалось зарегистрировать достаточно слабое образование – направленный выброс вещества из двойной системы (джет), открытый в 1994 г. другими авторами. По угловому смещению отдельных сгустков вещества в джете был оценен их возраст, т. е. время, прошедшее с момента выброса из двойной. Оно оказалось равным примерно 350 годам.

На 2.5-метровом телескопе проводится фотометрический мониторинг слабых ($V \cong 18^m - 19^m$) рентгеновских двой-

ных систем с черными дырами. Оптические и ИК-наблюдения рентгеновских новых A0620-00 и XTE J1118+480 привели к обнаружению интересного феномена. Несмотря на то, что рентгеновская светимость этих систем в спокойном состоянии пренебрежимо мала, в них наблюдаются бурные нестационарные процессы в оптическом и ИК-диапазонах спектра. Был сделан вывод о том, что эти нестационарные процессы связаны с тем, что рентгеновская новая в спокойном состоянии «отслеживает» активность оптической звезды – донора вещества.

Еще один интересный объект наблюдений на 2.5-м телескопе КГО ГАИШ – активное ядро известной сейфертовской галактики NGC2617. Его наблюдения в КГО проводятся в ИК-диапазоне. Параллельно с ними в оптическом диапазоне длин волн проводятся фотометрические наблюдения на Крымской астрономической станции, на телескопах МАСТЕР и спектральные наблюдения на 2-м телескопе Шеманхинской обсерватории.

Основной целью работы является определение временной задержки между изменениями блеска активного ядра в разных светофильтрах. Оказалось, что между изменениями блеска в оптическом (полоса *B*) и ближнем ИК-диапазоне (полоса *J*) существует задержка примерно в 3 дня. А вот между изменениями блеска в фильтрах *J* и *K* этот интервал составляет порядка 21 дня, несмотря на то, что по длине волны эти фильтры ближе друг к другу. Это происходит из-за того, что переменность в полосе *J* возникает от внешней части аккреционного диска, а переменность в *K* полосе – это переизлучение энергии, нагретой вспышкой пылью. Этим методом можно определять параметры аккреционного диска и, с какой-то долей уверенности, – параметры центрального источника. Результаты этой

работы уже опубликованы в статьях, по ним сделано несколько докладов на конференциях.

Еще одна работа с использованием фотометрического режима ИК-камеры была выполнена при исследованиях окрестностей малоизвестного молодого рассеянного скопления vdB130, расположенного во Млечном пути в созвездии Лебедя. Оказалось, что у существующих в настоящее время обзоров неба в ближнем ИК-диапазоне не хватает проникающей силы для изучения слабых членов этого скопления и звезд поля. Поэтому такие наблюдения были проведены на 2.5-м телескопе КГО с использованием камеры ASTRONIRCAM. Ее возможности позволили получить точную фотометрию звезд до 19 величины в ближнем ИК-диапазоне. Кроме того, на снимках в фильтрах *JHK* и узкополосном фильтре *CO* получились и изображения околозвездных и межзвездных туманностей. Дополнительно к этим снимкам, с помощью оптической камеры NBI были получены изображения в опти-

ческом диапазоне, в том числе в узкополосных фильтрах. Все это вместе позволило изучить как звездное, так и газопылевое окружения скопления.

Для верификации спектрального режима работы ИК-камеры ASTRONIRCAM были проведены исследования двух крупных спутников Юпитера – Европы и Каллисто. Статья, вышедшая по результатам спектральных измерений и их интерпретации, получила название «Сравнение ведущей и ведомой полусфер Европы и Каллисто по спектральным данным». Обнаружено подобие глобальных спектральных характеристик Европы и Каллисто в ближнем ИК-диапазоне и, в частности, максимума распределения гидрата серной кислоты (или близких продуктов) на ведомом полушарии обоих спутников. Это может указывать на существование общего механизма ионной имплантации серных соединений на этих и других спутниках, находящихся в радиационных поясах Юпитера. Кроме того, вероятно, в ходе наблюдений обнаружен спектральный признак наличия клатрата метана в виде слабой полосы поглощения с центром на длине волны 1.673 мкм на спектре отражения ведущего полушария Европы.

Одним из действительно инновационных приборов 2.5-м телескопа является спекл-поляриметр, созданный в ГАИШ МГУ Б.С. Сафоновым. Спекл-поляриметр предназначен для исследования поляризации астрономических объектов с дифракционным угловым разрешением, которое для 2.5-м телескопа составляет 0.05 секунд дуги на длине волны 500 нм. Таким образом, прибор позволяет продвинуться в 20 раз по сравнению с обычными наблюдениями, ограниченными атмосферной турбулентностью. Высокое угловое разрешение достигается за счет специальной обработки тысяч изобра-

Рис. 17. Окрестности рассеянного звездного скопления vdb 130. Снимок получен на камере ASTRONIRCAM 2.5-м телескопа КГО ГАИШ в фильтре К (длина волны 2.2 мкм)



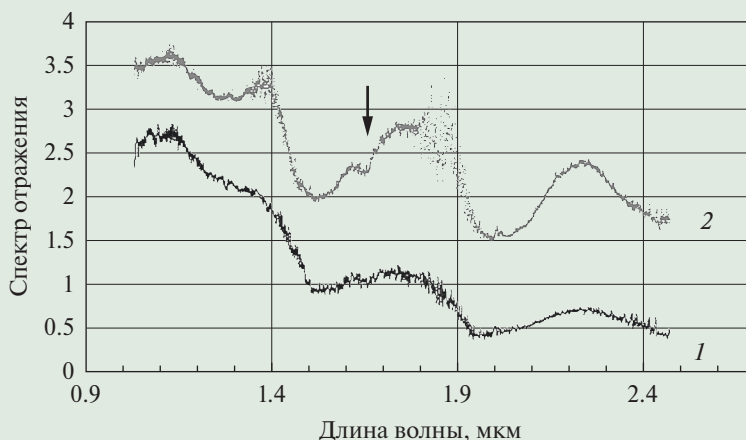


Рис. 18. Спектры отражения ведомой («1») и ведущей («2») полусфер Европы, нормированные на 1.5 мкм. Вертикальной стрелкой у спектра «2» показано предполагаемое положение полосы поглощения клатрата метана

жений объекта, получаемых с короткими экспозициями в двух ортогональных поляризациях. Применение методов дифференциальной поляриметрии в пространстве фурье-спектров позволяет обнаруживать на расстоянии $0.2''$ от наблюдаемой звезды источники поляризованного света в 1000 раз более слабые, чем сама звезда.

Наблюдениям со спекл-поляриметром доступны пылевые оболочки молодых звезд, в том числе протопланетные диски. Так, оболочка звезды RY Тау прослежена до расстояний $0.05''$ от звезды, т. е. в несколько раз ближе, чем это было сделано ранее на коронографе HiCIAO, установленном на 8.2 м телескопе Субару.

Оболочки старых звезд также с успехом разрешаются на спекл-поляриметре. Так, с его помощью у известной неправильной переменной μ Цефея, известной также, как Гранатовая звезда Гершеля, была открыта отражательная туманность в $0.15''$ к югу от звезды. Весьма необычными свойствами обладает открытая со спекл-поляри-

метром оболочка у полуправильной звезды V CVn (см. рис. 19) с амплитудой вариаций блеска 2 величины. Части оболочки меняют свою яркость с тем же периодом, что и звезда, но со значительными сдвигами фазы. Так, северная часть оболочки слабеет, когда звезда ярчает и, напротив, ярчает, когда звезда в минимуме блеска. Это может быть следствием нерадиальных пульсаций звезды. Для углеродной мириды V CrB путем совместного анализа спектров ИК-диапазона и данных дифференциальной спекл-поляриметрии видимого диапазона удалось показать наличие мелких пылинок в оболочке.

Не вызывает сомнений, что дальнейшее применение спекл-поляриметра на 2.5-м телескопе, особенно регулярные наблюдения переменных объектов, принесет еще немало интересных открытий. Примером может быть названо и интереснейшее исследование причин уникального ослабления блеска одной из ярчайших звезд неба – Бетельгейзе, выполненное в последние месяцы перед написанием этой статьи.

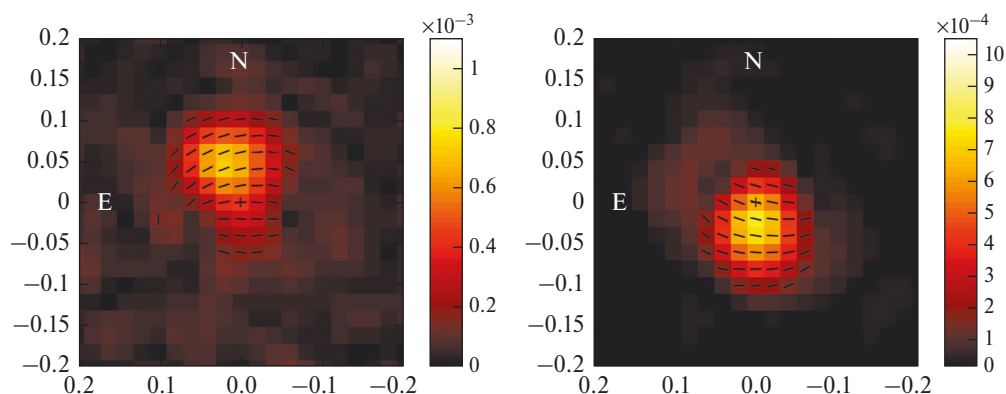


Рис. 19. Пылевая оболочка полуправильной переменной звезды V CVn (слева – в минимуме блеска 5 марта 2017 г., справа – в максимуме 11 мая 2017 г.). Яркость пикселей пропорциональна интенсивности поляризованного излучения. Черточки показывают ориентацию поляризации. Звезда располагается в центре координат, однако на этих изображениях не видна, поскольку ее излучение не поляризовано. По осям отложены угловые секунды, размер отображаемой области 0.4×0.4

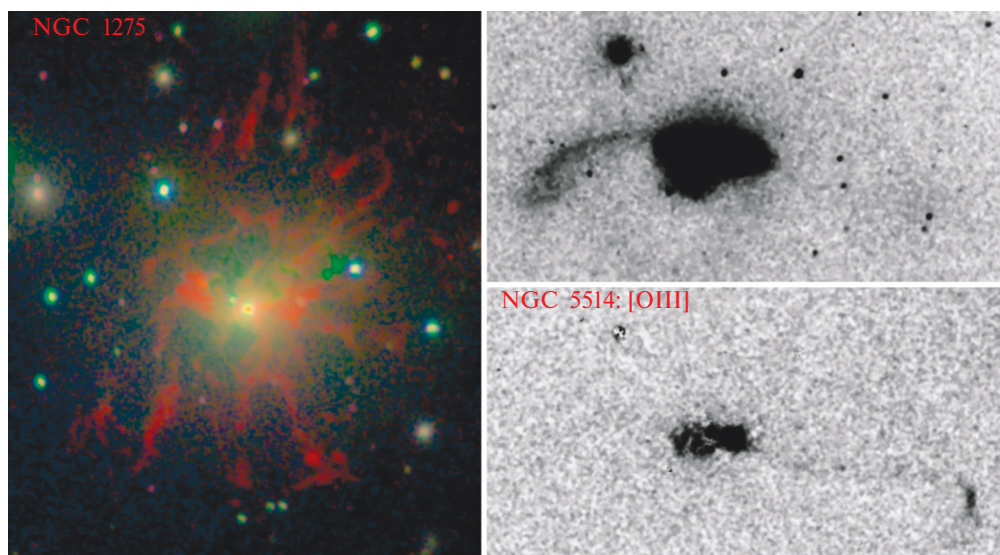


Рис. 20. Изображения галактик, полученные с помощью MaNGA. Слева красным цветом показано излучение ионизованного азота на границах пузырей горячего газа в центре скопления галактик в Персее. Зеленым показано излучение в линиях кислорода и в звездном континууме, заметны остатки дисковой галактики («система Минковского»), сливающейся с центральной галактикой скопления NGC 1275. Справа – взаимодействующая система NGC 5514 в излучении звезд (вверху) и в ионизованном кислороде (внизу). В последнем случае ионизованный газ обнаруживается на расстоянии более 60 кпк от ядра

Еще один интересный новый прибор – MaNGA, был впервые установлен на 2.5-м телескопе КГО в ноябре 2017 г.

С его помощью уже получен ряд важных результатов, например, изучено распределение планетарных туманнос-

тей в карликовой галактике NGC 3077, пузыри горячего газа в центре скопления галактик в Персее, открыты облака газа на гигантских (десятки килопарсек) расстояниях от галактик, ионизованные жестким ультрафиолетовым излучением, порожденным захватом вещества сверхмассивными черными дырами в активных галактических ядрах. На рис. 20 приведен пример таких газовых структур в сливающейся паре галактик с активным ядром NGC 5514. Также обнаружены газовые спиральные структуры в ряде линзовидных галактик, лишенных звездных спиралей.

Конечно, помимо описанных выше результатов, за время тестовой эксплуатации телескопа получены и другие. Часть из них уже опубликована, часть готовится к печати. Кроме того, постоянно продолжаются исследования и модернизация научной аппаратуры, которая используется на обсерватории, и исследования астроклимата места установки телескопа и даже самой его башни.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье описана история создания и идеология наполнения новой наблюдательной базы Московского университета – Кавказской горной обсерватории ГАИШ. Эта наблюдательная площадка явилась первой астрономической базой, созданной в послесоветский период истории России и одновременно стала новым витком в развитии экспериментальной астрономии в МГУ им. М.В. Ломоносова. Смонтированный на ней 2.5-метровый телескоп оказался достаточно трудным инструментом для введения в строй, показавшим исключительно высокое оптическое качество, но также и обладавшим серьезными проблемами в изначальном исполнении электромеханической части. Эти

проблемы к настоящему времени практически решены, и в течение текущего года телескоп должен получить весь функционал современного автоматизированного инструмента, с которым он задумывался и создавался.

Перечень научной аппаратуры телескопа достаточно богат, как и спектр задач, которые с ним решаются и будут решаться в ближайшей перспективе. Для реализации описанного плана требуются совместные усилия сотрудников не только МГУ, но и других научных организаций России и зарубежья. Созданная инфраструктура КГО имеет большой потенциал для такой совместной работы. В частности, рассматривается вариант размещения на территории обсерватории приглашенных инструментов в рамках совместных проектов, в которых идеи и возможности разных институтов могут быстрее и эффективнее реализоваться. Будут продолжать развиваться и образовательные программы как для студентов российских вузов, так и школьников, готовящихся связать свою судьбу с астрономией, проводиться конференции по различным тематикам.

В конце хотелось бы отметить, что ни создание, ни модернизация, ни текущая работа обсерватории не могли бы состояться без поддержки всего коллектива ГАИШ, трудной и подчас почти героической работы его хозяйственной части и администрации, сотрудников КГО, работающих иногда в весьма суровых климатических условиях. Авторам хотелось бы выразить отдельную благодарность сотрудникам Горной астрономической станции ГАО РАН, заместителям директора ГАИШ А.А. Павлову и С.А. Ламзину, главному инженеру ГАИШ А.И. Кудинову и первому руководителю КГО П.В. Кортуну за неоценимый вклад в строительство и становление новой наблюдательной базы Московского Университета.

ПИОНЕРЫ РАКЕТНОЙ ТЕХНИКИ.

Документы личных фондов Н.А. Рынина и С.П. Королёва в Архиве РАН

СЕЛИВАНОВА Ольга Владимировна,

кандидат исторических наук,

Архив РАН

DOI: 10.7868/50044394821040071

В Архиве РАН кроме документов К.Э. Циолковского и Ф.А. Цандера (ЗиВ, 2021, № 1) хранится фонд ученого в области авиации, начертательной геометрии и космонавтики, популяризатора идей межпланетных полетов Николая Алексеевича Рынина (1877–1942; ЗиВ, 2017, № 6). Доктор технических наук, профессор Н.А. Рынин внес весомый вклад в развитие и становление разных областей науки, техники и инженерного искусства в нашей стране. На заре отечественного воздухоплавания он совершал первые подъемы на воздушных шарах и аэростатах, летал на дирижаблях и аэропланах. Н.А. Рынин был прекрасным педагогом, популяризатором и историком воздухоплавания, авиации, ракетостроения и межпланетных сообщений, принесших ему мировую известность. Также он активно пропагандировал идеи К.Э. Циолковского. Николай Алексеевич посвятил более 40 лет своей творческой жизни становлению высшего авиационного образования в нашей стране и созданию воздушных сообщений.

Фонд ученого (документы за 1896–1952 гг., количество единиц хранения – 212) поступили в Архив в 1964 г. от его сына (Ф. 928). Из-за небольшого



Профессор Н.А. Рынин. 1930-е гг. АРАН. Ф. 928. Оп. 1. Д. 175. Л. 6

количества документов они объединены в одну опись. Большую часть занимают научные труды и материалы к ним (146 дел). Это, прежде всего, работы в области начертательной геометрии (статья «К вопросу о трансформации плоских фигур» 1932 г., доклад

Продолжение статьи ЗиВ № 1, 2021, стр. 101–109; № 3, 2021, стр. 92–97



Рисунки из коллекции Н.А. Рынина. АРАН. Ф. 928. Оп. 1. Д. 145

«Начертательная геометрия на основе проективной» 1940 г.), воздушного сообщения и воздухоплавания («Современные воздушные сообщения» 1921 г., «Воздухоплавание в Америке» 1923 г., «Воздушные сообщения. Общие вопросы и статистика» 1926 г., «Воздушная война» 1915–1916 гг., «Воздушная связь народов и государств» 1923 г.), реактивных полетов и освоения стратосферы («В глубины воздуха. Зачем мы полетим в стратосферу?» 1933 г., «СССР готовится к полету в стратосферу» 1933 г., «Штурм стратосферы» 1935 г., «Реактивное движение в природе» 1936 г.), а также переводы зарубежных работ, сделанные в 1900-е–1910-е гг. (перевод с немецкого исследования профессора Высшей технической школы в Берлине Г. Мюллера-Бреслау «Дополнение к теории пространственных сочленений», перевод с французского статьи Э.О. Дюшена «Технические беседы об аэроплане»), и библиографические указатели по различным темам. С начала 1920-х гг. ученый все больше занимается вопросами ракетной техники и космических полетов, всего им было написано около 40 работ по этой теме.

Н.А. Рынин был не только исследователем, но и популяризатором идей, связанных с воздухоплаванием, ракетной техникой и полетами в космосе. Он активно публиковал научно-популярные статьи в журналах и газетах, выступал перед широкой аудиторией¹. Сохранились афиши о чтении им лекций и докладов в различных городах страны. Особое место занимает его уникальная энциклопедия под общим названием «Межпланетные сообщения»², где Н.А. Рынин изложил весь известный на

¹ Многие его работы были переведены на английский язык.

² Работа публиковалась с 1928 по 1932 г. и вышла в 9 томах: вып. 1 «Мечты, легенды и первые фантазии», вып. 2 «Космические корабли в фантазиях романистов», вып. 3 «Лучистая энергия в фантазиях романистов и проектах ученых», вып. 4 «Ракеты и двигатели прямой реакции», вып. 5 «Теория реактивного движения», вып. 6 «Суперавиация и суперартиллерия», вып. 8 «Теория космического полета», вып. 9 «Астронавигация. Летопись и библиография». В 2016 г. первые три выпуска были переизданы: «Межпланетные сообщения. Мечты, легенды и первые фантазии. Космические корабли. Лучистая энергия». М.: Престиж Бук, 2016.

лись его научно-педагогические материалы: лекции «Теория авиации», прочитанные в Институте инженеров путей сообщения и школе авиации Всероссийского аэроклуба 1917 г., учебник «Проектирование воздушных сообщений» 1937 г., курс лекций «Курс воздухоплавания» 1910–1911 гг.

Интересна сохранившаяся коллекция рисунков (100 листов), собранная Н.А. Рыниным – иллюстрации по темам «воздухоплавание» и «авиация» из иностранных журналов и других изданий 1920-х гг. На красочных рисунках изображены самолеты, воздушные шары, дирижабли, парашютисты, а также символы полетов – Пегас, Икар, птицы.

В личном архиве отложилось некоторое количество документов биографического характера, а также характеризующих его деятельность. Так, имеется удостоверение Императорского Всероссийского аэроклуба о присвоении звания пилота-аэронавта-воздухоплателя – Н.А. Рынин, понимая важность при преподавании курса воздухоплавания иметь самому опыт полетов, с 1910 г. обучался при Всероссийском Аэроклубе и при Военно-воздухоплавательной школе. Сохранились справки о работе Н.А. Рынина в Институте инженеров путей сообщения, Квалификационной комиссии авиакомпания «Аэрофлот», в Ленинградском институте инженеров гражданского воздушного флота и других учреждениях, удостоверение члена-консультанта Бюро воздушной техники Ленинградского областного совета Осоавиахима⁴, удостоверения личности и пропуска Ленинградской военно-воздушной академии Красной армии, характеристики, автобиография, список научных трудов, почетные

⁴ Общество содействия обороне, авиационному и химическому строительству – общественно-политическая оборонная организация, существовавшая в 1927–1948 гг.



Грамота Ленинградского института инженеров гражданского воздушного флота, выданная Н.А. Рынину за работу по подготовке кадров. 1940 г. АРАН. Ф. 928. Оп. 1. Д. 167. Л. 1

грамоты, благодарности, поздравительные документы к юбилеям.

Стоит отметить сохранившиеся в фонде фотографии: портрет Н.А. Рынина перед первым самостоятельным полетом на аэроплане Фармана на Гатчинском аэродроме под Петербургом (1910), в гондоле дирижабля «Сокол» перед полетом (1910), в группе преподавателей и студентов Института инженеров путей сообщения при открытии временной Аэродинамической лаборатории (1911)⁵, со студентами

⁵ Еще в 1909 г. при участии Н.А. Рынина была создана одна из первых в России аэродинамических лабораторий в Петербургском институте инженеров путей сообщения.



Н.А. Рынин у гидросамолета. Казань, 1924 г. АРАН. Ф. 928. Оп. 1. Д. 194. Л. 1



Н.А. Рынин (у колонны справа) в Президиуме 3-го Всесоюзного совещания по аэросъемке. Ленинград, 1931 г. АРАН. Ф. 928. Оп. 1. Д. 197

(1912, 1913), в Президиуме Воздухоплавательного кружка (1914), в группе членов Комиссии по устройству Всероссийского праздника авиации [до 1917 г.].

При комплектовании фонда Н.А. Рынина в Архив АН не было передано эпистолярное наследие ученого; сохранилось лишь несколько его писем

жене Т.В. Рыниной, сыну Л.Н. Рынину, И.П. Фортикову⁶.

Королёв Сергей Павлович (1907–1966; ЗиВ, 1982, № 2; 1997, № 1; 2007, № 1) – пионер освоения космического пространства, главный конструктор ракетно-космической техники, основоположник практической космонавтики, академик АН СССР (1958 г., член-корреспондент 1953 г.), член Президиума АН СССР (1960–1966), дважды Герой Социалистического Труда, лауреат Ленинской премии. Блестящий организатор, благодаря своим энергии и талантам сумевший стать первооткрывателем, по словам президента Академии наук СССР М.В. Келдыша, эры освоения человечеством космического пространства, он создал ряд новых конструкторско-производственных организаций, Совет главных конструкторов, сплотив вокруг себя плеяду выдающихся конструкторов. Его конструкторские разработки представляют исключительную ценность для развития отечественного ракетного вооружения и обороноспособности

страны (баллистические ракеты дальнего действия Р-1, Р-2, Р-5, Р-9, Р-11, Р-5М

⁶ Входил в инициативную группу создания Группы изучения реактивного движения (ГИРД; ЗиВ, 1981, № 5). В фонде К.Э. Циолковского сохранились как письма ему Н.А. Рынина, так и его Н.А. Рынину.

и Р-11М с ядерной боеголовкой, межконтинентальные Р-7А и РТ-2, экспериментальная твердотопливная РТ-1, спутники-фоторазведчики «Зенит» и др.). В области ракетной техники и космонавтики имеют мировое значение: ракеты-носители «Восток», «Молния», «Союз», проекты сверхтяжелого носителя «Н-1» и межпланетного корабля ТМК-1 для полета экипажа на Венеру и Марс, геофизические ракеты, первые ИСЗ, АМС серий «Луна», «Зонд», «Венера», «Марс», пилотируемые корабли «Восток», «Восход», «Союз». В числе его выдающихся заслуг – создание первого космического комплекса, запуски первых в мире межконтинентальной баллистической ракеты и ракеты-носителя, искусственного спутника Земли и космических аппаратов к Луне, осуществление первого полета человека в космос и первый выход человека в открытый космос.

Небольшой размер личного фонда С.П. Королёва в Архиве РАН (АРАН) (Ф. 1546, документы 1905–1986 гг., объемом единиц хранения – 113) объясняется, прежде всего, засекреченностью его работы и тем фактом, что его документальное наследие рассеяно по несколькими архивохранилищам и музеям. Кроме того, следует отметить, что часть документов представлена фотокопиями, ксерокопиями и типографскими экземплярами. Тем не менее сохранившиеся документы, бесспорно, представляют интерес для исследователей биографии и деятельности С.П. Королёва, хотя большинство из них уже и были опубликованы или использованы в работах о С.П. Королёве. Документы объединены в одну опись и расположены по стандартным подразделам.

Среди научных трудов – тексты некоторых выступлений: доклад «Полет реактивных аппаратов в стратосфере» Всесоюзной конференции по изучению стратосферы при АН СССР (1934), выдержки из доклада «Крылатые ракеты и применение их для полета чело-



С.П. Королёв с подопытной собакой, совершившей полет на геофизической ракете Р-1Б. Полигон Капустин Яр, 1951 г. АРАН. Ф. 1546. Оп. 1. Д. 75. Л. 15

века» на 1-й Всесоюзной конференции по применению ракетных аппаратов для исследования стратосферы (1935), доклад «О практическом значении научных и технических предложений К.Э. Циолковского в области ракетной техники» на торжественном собрании АН СССР в Доме Союзов, посвященном 100-летию со дня рождения К.Э. Циолковского (1957), рабочие заметки по тяжелому межпланетному кораблю и тяжелой орбитальной станции (1962), отзыв пилота-парителя инженера С.П. Королёва о бесхвостом планере БИЧ-8 конструктора Б.И. Черановского (1931), рукописные наброски стихотворений, замечания на статью Ю.А. Победоносцева о пороховых ракетах В.А. Артемьева, несколько репортажей обозревателя

В 1938 г. после ареста И.Т. Клеймёнова, Г.Э. Лангемака и В.П. Глушко был арестован и С.П. Королёв. В АРАН сохранились заявление 1939 г. Сергея Павловича Верховному прокурору СССР о пересмотре дела и выписка из протокола № 18 от 27 июля 1944 г. заседания Президиума Верховного Совета СССР о его досрочном освобождении.

Среди биографических документов отложились записные книжки С.П. Королёва, автобиография (1952), документы о командировании его в Москву, о службе в Германии, где в советской оккупационной зоне в Тюрингии он изучал трофейную ракетную технику. В 1946 г. в созданном там ракетном институте «Нордхаузен» главным инженером был назначен С.П. Королёв. Среди материалов по Германии – списки командированных туда работников НКАП СССР, командировочное предписание С.П. Королёва, справки о сроке службы, награждении ценным подарком, заметки о расходах, документы о приобретении легковой трофейной машины и др.

В фонде отложилось достаточно большое количество фотографий. Они объединены в одно дело (ед. хр. 75), есть внутренняя опись. Так, имеются фотографии С.П. Королёва 1930–1960-х гг.: портреты, семейные, в планере «Коктебель» (1929), во время работы над дипломным проектом, участников обсуждения проекта установки двигателя Ф.А. Цандера ОР-2 на планер Б.И. Черановского «БИЧ-11» в Осоавиахиме (1932), первая бригада ГИРД на Нахабинском полигоне перед пуском ракеты ГИРД-Х (25 ноября 1933 г.), участников пуска ракеты ГИРД-07 на Софринском артиллерийском полигоне (1934), крылатая ракета 217/II на пусковом станке в Реактивном научно-исследовательском институте (1936), у двигателя ракеты «Фау-2» (1945), в Берлине, на ракетном полигоне Капустин Яр, на даче в Барвихе, после вручения первой звезды Героя Социали-



Первая бригада ГИРД перед пуском ракеты ГИРД-Х. Слева направо: С.П. Королёв, Н.И. Ефремов, Л.С. Душкин, Л.К. Корнеев, И.И. Хованский. Сидят: Б.В. Флоров, Л.Н. Колбасина, К.К. Фёдоров, А.И. Полярный, Ф.Л. Якайтис, М.Г. Воробьёв. Нахабинский полигон, 25 ноября 1933 г. АРАН. Ф. 1546. Оп. 1. Д. 75. Л. 168

стического Труда (1956), на выступлении у ОКБ-1, с космонавтами Ю.А. Гагариным и В.В. Терешковой, академиком М.В. Келдышем и др.

Значительная часть личного фонда С.П. Королёва – это документы о нем: статьи, выступления и воспоминания матери, М.Н. Баланиной, К.Д. Бушуева, Г.С. Ветрова, Л.А. Владиславлева, В.Н. Галковского, М.Л. Галлая, В.С. Губарева, Н.И. Ефремова, А.Ю. Ишлинского, В.П. Мишина, А.В. Палло, В.А. Сытина, А.Н. Туполева и др., статьи обозревателя ТАСС А.П. Романова. Среди документов об увековечении памяти – постановления Президиума АН СССР об учреждении Золотой медали им. С.П. Королёва (1966) и о присуждении медали

ставшего в 1966 г. главным конструктором ОКБ-1 – ЦКБЭМ; одного из создателей ряда космических аппаратов для исследования околоземного космического пространства, члена-корреспондента АН СССР Константина Давыдовича Бушуева (1914–1978; № 1889), а также основоположника советского жидкостного ракетного двигателя, главного конструктора ОКБ-456 (ныне – АО «НПО Энергомаш» им. В.П. Глушко)

и НПО «Энергия», академика Валентина Петровича Глушко (1908–1989; № 2080), хранящиеся в АРАН, еще не обработаны. Они тоже невелики по объему и после введения в научный оборот скорее будут полезны для освещения биографии ученых, а не их научно-технической деятельности. Кроме того, в Архиве РАН хранятся фонды ученых смежных областей, чьи исследования, бесспорно, внесли важный вклад в изучение космоса, например, М.В. Келдыша, А.Л. Чижевского, Н.М. Сисакяна, В.П. Белякова, Д.В. Скобелыцина, А.П. Александрова. Также документы по истории ракетной техники можно найти в фондах институтов и разрядах (коллекциях) Архива РАН.

Таким образом, очевидно, что АРАН является одним из крупнейших архивохранилищ документов для изучения истории и предыстории космических полетов и личного вклада ученых в покорение космоса. Для исследователей открыт читальный зал Архива РАН, а для просмотра описей фондов и предварительного заказа дел можно воспользоваться базой данных АРАН¹⁰.

¹⁰ <http://isaran.ru/?q=ru/funds&str=%D1%80%D0%B0%D0%BA%D0%B5%D1%82>



Академик В.П. Мишин с космонавтами В.А. Шаталовым, Б.В. Волиновым, Е.В. Хруновым, А.С. Елисеевым и сотрудниками предприятия. ЦКБЭМ, 1969 г. АРАН. Ф. 2221



Юбилейный плакат Г.Б. Ефимова, посвященный научной деятельности Института прикладной математики АН СССР. На нем изображены организатор и директор института академик М.В. Келдыш, К.Э. Циолковский, С.А. Чаплыгин, Н.Э. Жуковский и сотрудники ИПМ. АРАН. Ф. 1729. Он. 2. Д. 253

ЯН ХЕНДРИК ООРТ (1900–1992)

ЕРЕМЕЕВА Алина Иосифовна,

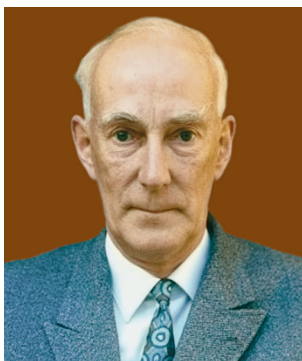
кандидат физико-математических наук

Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга МГУ

DOI: 10.7868/50044394821040083

Один из крупнейших современных астрономов и первых радиоастрономов в мире Ян Хендрик Оорт (Jan Hendrik Oort) родился 28 апреля 1900 г. в небольшом прибрежном городке Франекере на севере Голландии (современные Нидерланды; ЗиВ, 1993, № 2). Оорт учился в начальной школе в г. Огстгесте, расположенном недалеко от Лейдена, куда переехала его семья. Среднюю школу окончил в Лейдене и в 1917 г. поступил в Гронингский университет (основан в 1614 г.), чтобы слушать лекции известного голландского астронома Якобуса Каптейна (1851–1922), хотя первоначально более склонялся к изучению физики.

Интерес к астрономии пробудило в нем чтение еще в старших классах школы книг Жюль Верна. В университете его наставником стал Я. Каптейн, с которым он начал сотрудничать уже с третьего курса. Большое влияние на формирование Оорта как исследователя оказал и его университетский профессор физики Фриц Цернике (1888–1966) – выдающийся нидерландский теоретик, экспериментатор и изобретатель в области физической оптики, будущий лауреат Нобелевской премии. Недаром,



Ян Хендрик Оорт. 1970-е гг.

даже определив астрономию делом всей своей жизни, Оорт отличался особым чутьем и умением проникать и в физическую природу явления.

Окончив университет в 1921 г. и поработав в нем два года ассистентом, Оорт, как и многие в 1920-е гг., осуществил свою первую мечту – поработать в США – стране, наиболее развитой технически, а следова-

тельно, имевшей большие возможности и в развитии астрономии, требовавшей все более крупных инструментов. По американской традиции он получил возможность стать на два года (1922–1924) аспирантом и помощником известного астронома Ф. Шлезингера (1871–1943) в Йельской обсерватории в г. Нью-Хейвене (штат Коннектикут). Вся дальнейшая большая и чрезвычайно плодотворная жизнь Оорта проходила на родине и была связана с Лейденской астрономической обсерваторией (1924–1943; 1945–1969 гг. – директор) и Лейденским университетом (1926–1943, 1945–1969 гг. – профессор). С 1937 г. он уже был членом Национальной академии Нидерландов (1937–1943, 1945–1992 гг.). Во время фашистской оккупации, от-

казавшись сотрудничать с немцами в знак протеста против преследования преподавателей-евреев, Оорт был в 1943 г. уволен из университета и обсерватории и сам вышел из состава Академии. Уехав в деревню Халхорст, где находилась его семья, он оставался там до конца войны, не прекращая научных исследований. В Лейден Оорт вернулся в 1945 г., став профессором университета и директором обсерватории.



*Ян Хендрик Оорт
в молодости. 1930-е гг.*

Область научных интересов Я.Х. Оорта и его исследований была необъятной. Это и звездная астрономия (структура и динамика Галактики), и межзвездная среда, и темная материя (само существование которой он доказал в 1932 г., исследуя динамику нашей Галактики в экваториальной области¹), и остатки взрывов Сверхновых (SN). Наконец, это фундаментальные проблемы современной космологии (крупномасштабная структура Метагалактики) и космогония (звездная и планетная, последняя в связи с проблемой происхождения комет). Он внес свой вклад и в развитие математического аппарата астрономии, но главным образом был астрономом-наблюдателем и глубоким исследова-

телем-интерпретатором. Биографы Оорта отмечали именно его прозорливость физика – за математическими формулами он умел увидеть физическую суть явления. Особую роль в развитии современной астрономии Я.Х. Оорт сыграл как едва ли не первым оценивший уникальные перспективы зарождавшейся новой науки XX века – радиоастрономии. Главным на этом пути стала его глубочайшая идея как физи-

ка о необходимости искать линейчатый спектр космического радиоизлучения, которое проявлялось у первых наблюдателей-радиоинженеров лишь в виде непрерывного общего свистящего «шума». После осуществления его учеником и последователями-наблюдателями этой идеи – открытия знаменитой первой радиолинии 21 см, Оорт организовал создание первых крупных радиотелескопов на родине и получил радиоастрономическими методами новые фундаментальные результаты в изучении строения и структуры Галактики²,



Я.Х. Оорт в 1975 г.

¹ В интернете об Оорте даже сказано, что в 1932 г., изучая вращение Галактики, он открыл «темную материю» в ее современном смысле. Но автору настоящей статьи не удалось найти этому явного подтверждения в названиях приводимых главных публикаций Оорта (указана лишь одна за 1932 г.: Оорт, Дж. Х., «Сила, проявляемая звездной системой в направлении, перпендикулярном плоскости Галактики, и некоторые связанные с этим проблемы». – Bull. Astron. Inst. Neth. 6 (1932). P. 249–87).

² Оорт Ян. Строение и эволюция Галактической системы // Земля и Вселенная, 1965, №№ 2 и 3.

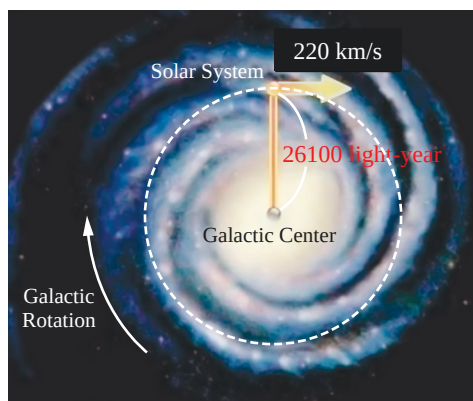


Схема вращения Галактики. Указаны направление вращения и ее скорость в окрестности Солнца, которое находится в одном из спиральных рукавов на расстоянии ок. 8,5 кпк от центра нашей звездной системы, совершая оборот примерно за 220 млн лет

недоступные для астрономии в оптическом диапазоне.

Научная деятельность Я.Х. Оорта началась с фундаментального успеха. В 1927 г. в результате статистических исследований собственных движений и лучевых скоростей звезд Оорт окончательно подтвердил теоретический вывод шведского астронома Б. Линдблада (1926) о вращении Галактики³ и установил уменьшение скорости ее вращения с расстоянием от центра (дифференциальное, не твердотельное вращение). Он ввел постоянные величины, характеризующие дифференциальное (кеплерово) вращение Галактики, получившие известность как «постоянные Оорта»⁴, первым оценил ско-

рость (272 км/с)⁵ и период (220 млн лет) ее вращения в окрестностях Солнца. Оорт доказал, что за пределами главного диска Млечного Пути существует галактическое гало – гигантское скопление звезд, охватывающее всю Галактику, которое также вращается вокруг центра нашей звездной системы. Позднее Оорт по лучевым скоростям межзвездного водорода, наблюдаемым на радиоволне 21 см, уточнил, что вращение центральных частей Галактики более близко к твердотельному, становясь кеплеровым лишь с расстояния в 6 кпк (19 569,4 св. года).

С 1932 г. Оорт изучал межзвездную материю и впервые оценил нижний предел ее плотности – $3.1 \cdot 10^{-24}$ г/см³, названный «пределом Оорта», доказав и ее сосредоточенность в галактической плоскости в виде слоя, толщиной 400 пк (1304.5 св. года). Он установил, что Солнце расположено в области с пониженной звездной плотностью и оценил его расстояние от центра Галактики в 5.1 кпк⁶, второе уменьшив принятую тогда первую его оценку американского астронома Х. Шепли (ок. 50 тыс. св. лет, или 15.3 кпк), не учитывавшего влияния межзвездного поглощения⁷.

В совместной статье 1942 г. Я.Х. Оорт и американский астроном Н. Мейол из Ликской обсерватории сообще-

Выраженные через круговую скорость и расстояние звезды до центра Галактики, они, по Оорту, равны: $A = 14,8$ км/с/кпк; $B = -12,4$ км/с/кпк.

⁵ В середине XX в. она была уточнена: 220 км/с. – О. Струве, В. Зебергс. Астрономия XX века. М.: Мир, 1968. С. 469; в настоящее время принята как «не менее 220 км/с».

⁶ В интернете упоминается также его оценка в 5.9 кпк.

⁷ В том же году свое уточнение этого расстояния (ок. 10 кпк) получил Б.П. Герасимович (1889–1937). В настоящее время оно оценивается как ок. 8.5 кпк (26 100 св. лет).

³ Oort J.H. Observations Evidence Confirming Lindblad's Hypothesis of a Rotation of the Galactic System // Bull. Astron. Inst. Netherlands. V. 3. 1927. P. 276.

⁴ Эмпирически полученные Оортом величины (A, B), определяющие лучевую скорость и собственное движение звезд на их орбитах вокруг центра Галактики, считающихся круговыми.

ли о своем отождествлении Крабовидной туманности в Тельце с остатками от взрыва звезды 1054 г.⁸ Эта ярчайшая за всю историю Сверхновая наблюдалась как неожиданная «звезда-гостья» китайскими и японскими астрономами с 4 июля 1054 г. по 17 апреля 1056 г., в т. ч. в течение 23 дней и в дневное время. В 1950-е гг. Оорт обнаружил поляризованность излучения этого остатка взрыва SN 1054 в оптическом диапазоне, подтвердив открытие советских астрономов М.А. Вашакидзе и В.А. Домбровского. Это окончательно доказало, что его оптическое излучение имеет не тепловую, а синхротронную природу (магнитотормозное излучение электронов в магнитном поле расширяющейся туманности), что подтвердило гипотезу известного советского астрофизика И.С. Шкловского (1916–1985).

Оорт обладал особым чутьем на перспективные направления исследований. Вдохновленный пионерскими глобальными наблюдениями американца Г. Рёбера (1911–2002) – первого последователя американского физика и радиоинженера К. Янского (1905–1950), родоначальника радиоастрономии – он в послевоенные годы стал инициатором изучения структуры Галактики новыми, радиоастрономическими методами (к которым большинство астрономов относилось тогда еще с большим



Голландский астроном
Хендрик ван де Хюлст.
1950-е гг.

скепсисом). Оорт подчеркивал: «Именно работа Гроута Рёбера произвела на меня первое впечатление и убедила в уникальной важности радионаблюдений для изучения Галактики». Столкнувшись с давней проблемой искажения картины Галактики поглощающей материей, Оорт сразу оценил важность для ее решения открытия космического радиоизлучения: для радиоволн не существовало межзвездного поглощения!

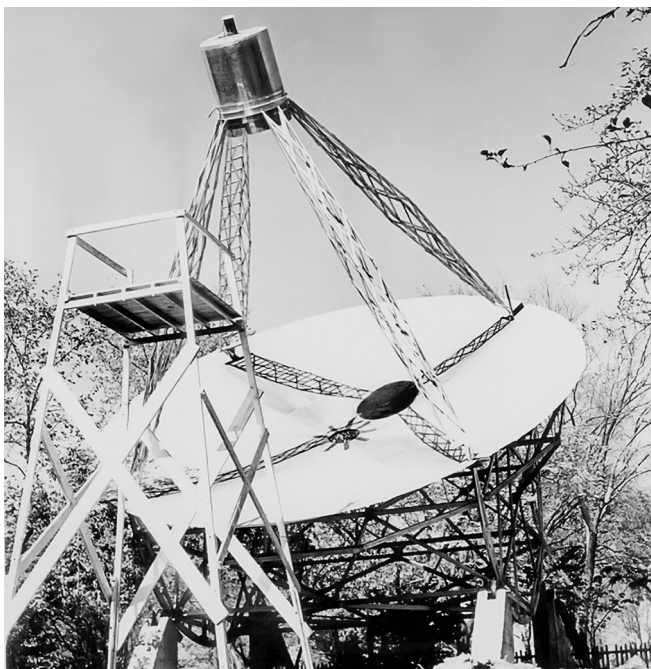
Но для выявления и определения лучевых скоростей отдельных радиоисточников в космосе в новом диапазоне волн необходимы были спектральные линии, а не непрерывный спектр-континуум (радиощум), уловленный впервые К. Янским (1931) и подтвержденный в первых глобальных радиообзорах неба Г. Рёбером (1937). Именно в годы своей «деревенской изоляции», весной 1944 г. Оорт посоветовал своему студенту физику-теоретику Хендрику ван де Хюлсту (1918–2000) поискать такие радиолинии⁹. В результате углубленного изучения строения атома ван де Хюлст уже вскоре теоретически показал возможность излучения такой линии при чрезвычайно редких спонтанных переходах энергии между двумя близкими энергетическими подуровнями в расщепленной сверхтонкой

⁸ Mayall N.U., Oort J.H. Further Data Bearing on the Identification of the Crab Nebula with the Supernova of 1054 A.D. // Publ. Astron. Soc. Pacific. Vol. 54, 1942. P. 96.

⁹ Van de Hulst H.C. Studies of the 21-cm Line and Their Interpretation, Radio Astronomy, International Astronomical Union Symposium, No. 4, New York, Cambridge Univ. Press, 1957. P. 3. (См. также в кн.: О. Струве и В. Зенбергс. Астрономия XX века. М.: Мир, 1968. С. 101–102).



Американский радиоинженер
Гроут Рёбер и его первый
в мире самодельный
радиотелескоп
с полноповоротной
параболической антенной
диаметром 9,5 м



структуре электронной оболочки нейтрального атома водорода в его основном состоянии¹⁰. Так было выявлено и физически обосновано существование первой линии в радиоволновом спектре – знаменитой ныне и главной в радиоастрономии – метастабильной линии нейтрального атомарного водорода, длина которой была определена ван де Хюлстом в 21.2 см. По расчетам она излучается один раз в миллион лет! Но обилие водорода в нашей физической Вселенной обеспечивает ее доступность для наблюдателя.

Получив свой теоретический результат, ван де Хюлст, по совету Оорта, обратился к пионеру наблюдательной радиоастрономии, радиоинженеру

и конструктору первого радиотелескопа с параболической антенной диаметром 9.5 м, Г. Рёберу с вопросом – нельзя ли построить соответствующий приемник и для этой линии в 21 см? Но, как и у нас в подобном случае, Рёбер также отступил перед трудной технической проблемой: слишком короткими казались такие радиоволны для их выделения из общего радиошума! (Предложение И.С. Шкловского нашему пионеру наблюдательной радиоастрономии В.В. Виткевичу поискать линию в 21 см с помощью трофейного радара, что не получило тогда отклика ввиду скептического отношения к задаче едва ли не главного физика-теоретика страны Л.Д. Ландау.) Между тем голландцы попробовали использовать для этого именно трофейный немецкий радар Wurzburg с антенной диаметром 7.5 м. С переключения такой трофейной военной техники на использование ее в мирной науке начиналась радиоастрономия во всем мире. И только не-

¹⁰ Van de Hulst H.C. Origin of the Radiowaves, Source Book to Astronomy 1900–1950, ed. H. Shapley, Cambridge, Mass., Harvard Univers. Press, 1960. P. 292 (перевод с голландского оригинала 1945 г.).

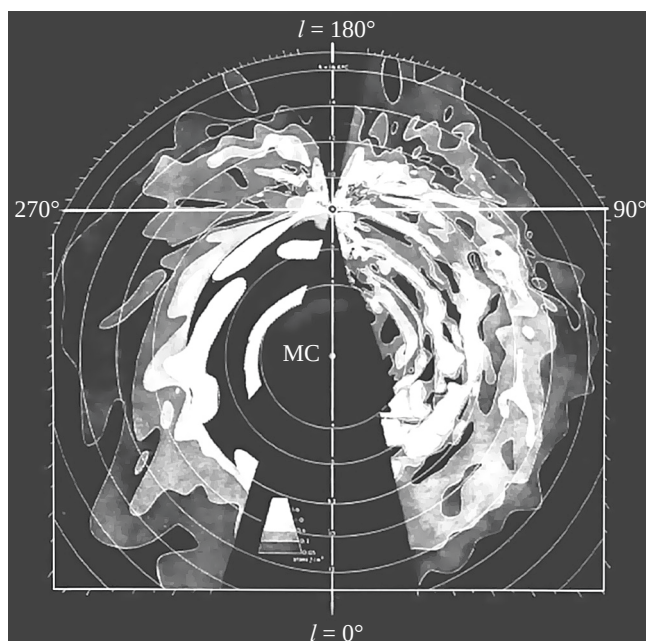
счастный случай – пожар и уничтожение приемника – не позволил голландским радиоастрономам первыми обнаружить эту линию. Ее принял впервые в 1951 г. на свой простой приемник (с антенной в виде тонкого прута, высушенного из окна!) американец Э. Парселл со своим студентом Х. Юэном. Но, как рассказал об этом впоследствии индийский радиоастроном Радхакришнан, настолько был велик авторитет Оорта, что Парселл, проявив благородство, согласился задержать сообщение о своем эпохальном открытии, пока эта радиолиния (сигнал высокого тона, пробивающийся сквозь общий «базарный» радиоволновой шум из космоса) не была уже вскоре обнаружена и голландской группой в результате наблюдений в Катвейке, расположенном на побережье Северного моря близ Лейдена к северу от него. И лишь тогда, в том же 1951 г., объединенное сообщение об открытии первой космической спектральной радиолинии 21 см было отправлено из Гарвардской обсерватории – центра новых сообщений – в журнал *Nature*. Не всем, однако, были известны эти обстоятельства, и слава первооткрывателей в общем мнении закрепилась за американцами.

Вскоре, в 1954 г., Оорт инициировал создание в Голландии двух первых боль-

ших радиотелескопов для наблюдений в линии 21 см – в г. Двингелоо с 25-метровой параболической антенной (построен в 1955 г. и до создания в 1958 г. английского радиотелескопа в Джодрел-Бэнк крупнейший в мире) и первого синтетического радиотелескопа в г. Вестерборке, скомпонованного из нескольких антенн. Наблюдения с ними сразу принесли новые, фундаментальные сведения о структуре нашей Галактики. Аналогичные результаты были получены затем о структуре других спиральных галактик, вместе с открытием бурных процессов вблизи центров многих из них. Даже в набитой пылью экваториальной плоскости Галактики радиоастрономы проникали на расстояния в десять раз большие, чем оптические телескопы. Вселенная становилась несравненно более «прозрачной» для наблюдателей. В 1950-е гг. научная группа, возглавляемая Оортом, и группа австралийских радиоастрономов обнаружили 21-см радиоволны, исходящие от межзвездного водорода, и построили первую радиокарту Млечного пути, подтвердив спиральную структуру Галактики и наличие газовых облаков в спиральных ветвях. Ими было уточнено и расстояние Солнца от ее центра – 8.2 кпк. По этой картине Оорт и другие исследователи сделали вывод о сход-



Первые голландские радиотелескопы в Двингелоо (1955) и комплексный в Вестерборке (1956)



Распределение нейтрального водорода в Галактике. Правая часть, от 200° до 340° галактической долготы, по часовой стрелке – результат группы Оорта (1954 г.); левая получена австралийскими радиоастрономами Г. Вестерхаутом и Ф. Керром в 1958 г. (цит. по кн. О. Струве и В. Зебергс. *Астрономия XX века*. М.: Мир, 1968. С. 477)

стве нашей Галактики с М31 в Андромеде или с М81 в Большой Медведице.

Радиоастрономические исследования расширили интересы Оорта, и в последние годы жизни он занялся наиболее актуальным вопросом космологии XX века – проблемой распределения галактик в Метагалактике, то есть крупномасштабной структурой Вселенной.

Другой фундаментальной проблемой для Оорта стала еще одна давняя в астрономии загадка – происхождение комет, резко разделяющихся на долгопериодические (и даже апероидические), с эксцентриситетами $e =$ или > 1 , т. е. с параболическими или даже гиперболическими орбитами и короткопериодические с замкнутыми, эллиптическими орбитами. В 1950 г. для объяснения этого Оорт предложил гипотезу

о существовании вокруг Солнца огромного облака из миллиардов потенциальных комет в виде сферического слоя поперечником до 150 тыс. а.е.¹¹ Сначала их первоначальным источником он традиционно считал якобы разрушенную гипотетическую планету Фэзтон между Марсом и Юпитером, а с 1951 г. – уже процесс планетогенеза, в согласии с новой, шмидтовской космогонией¹². По гипотезе Оорта кометы, точнее их «заготовки» – кометные тела, сосредоточенные в сферическом слое, лишь изредка, под влиянием ближайших звезд, изменяют свои орбиты и направляются внутрь Солнечной системы, обнаруживая себя близ своих новых перигелиев, а под возмущающим действием больших

планет могут превращаться и в короткопериодические. Новизна и ценность гипотезы Оорта была в том, что источник наиболее загадочных долгопериодических и апероидических комет впервые был вынесен далеко за пределы системы планет, оставаясь при этом элементом Солнечной системы¹³. Он полагал,

¹¹ Oort J.H. // Bull. Astron. Inst. Netherl. 1950. V. 11. P. 91.

¹² Oort J.H. // Observatory. 1951. V. 71. P. 129.

¹³ Традиционными до этого были две гипотезы межзвездного происхождения всех комет (Лаплас, 1796) и рождения их в области больших планет в результате разрушения гипотетической большой планеты («планеты Олберса», предложенной им в качестве источника первых открытых в 1800–1804 гг. астероидов; о таком же

что подобные «облака» существуют и вокруг других звезд, допуская и то, что не только «свои» кометные тела могут уходить из них в межзвездное пространство под влиянием звездных возмущений, но и «чужие» кометы могут оказываться в пределах нашего кометного облака, т. е. пределах Солнечной системы. Эта гипотеза прочно вошла в современную астрономическую картину мира под именем «Облако Оорта», или кратко «ОО», и считается до сих пор наиболее известной его работой.

Но наука не стоит на месте. И подобно тому, как сам Оорт окончательно закрыл гипотезу «гелиоцентрической» Галактики Каптейна, более обоснованно измерив удаленность Солнца от ее центра, в 1980–1990-е гг. в результате глубокого анализа шмидтовской космогонической планетной гипотезы новое решение наметилось и в проблеме кометной космогонии. На смену гипотезе Оорта московским астрономом Ф.А. Цициным (1931–2005) было выдвинуто представление о формировании в окрестностях Солнечной системы, как и других звездно-планетных систем в плоской подсистеме Галактики, в процессе планетогенеза огромного (в десятки раз больше предполагавшегося Оортом) и замедленно расширяющегося реликтового облака – «диффузионного роя»

возможном кометном источнике высказал идею Лагранж в 1812 г.). В XX в. она преобразовалась в гипотезу взрывов на поверхностях планет) ее до сих пор ошибочно называют «эруптивной гипотезой Лагранжа») или их спутников (гипотеза С.К. Всехсвятского, 1932).

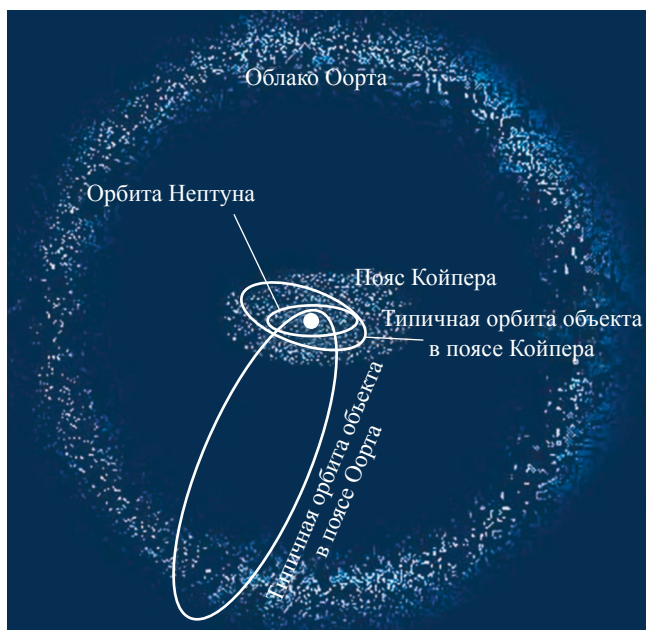


Схема расположения Облака Оорта на периферии Солнечной системы

кометных тел (КТ) как более обоснованного источника долго- и аperiодических комет¹⁴. Такие диффузионные кометные рои вокруг звезд могут и пересекаться, наполняя Галактику, а то и Метагалактику, этим населением из малых тел – «нулевым» по общей массе, но колоссальным по количеству¹⁵. «Гипотеза “Облака Оорта” кометных

¹⁴ Ф.А. Цицин. Очерки современной космогонии Солнечной системы. Источники. Проблемы. Горизонты. Дубна, Феникс+, 2009. С. 153–226.

¹⁵ Догадку о чрезвычайной распространенности во Вселенной комет первым высказал в 1619 г. И. Кеплер, которого впервые в наше время процитировал в 1911 г. П.Н. Лебедев (1866–1912) в своих работах о роли светового давления в явлении кометы (А.И. Еремеева. Историко-астрон. исследования. Вып. XL. 2018. С. 82–83). См. также: Астрономия в общепонятном изложении С. Ньюкома и Р. Энгельмана. Спб., 1896. С. 386.



100-летие Лейденской астрономической обсерватории: Я.Х. Оорт, Х. ван де Хюлст, П. Остерхоф у исторического телескопа-рефлектора (построен ок. 1750 г. амстердамским приборостроителем Адамом Штейцем). 5 мая 1961 г.

тел на дальней “предзвездной” периферии Солнечной системы, – пишет в своей монографии Цицин [2004 г.¹⁶], – в отношении этого подкласса наблюдаемых комет [долго- и апероидических] (сопряженная с гигантскими, до сих пор не преодоленными трудностями [как в объяснении процесса образования, так и сохранения ОО]) оказывается, таким образом, ... излишней¹⁷. По мнению автора новой гипотезы, картина ОО возникла «за счет зачисления в него комет-пришельцев из всего простирающегося на многие (возможно, до сотни) парсеков диффузионного роя кометных тел-диссипантов из Солнечной системы... Идея облака Оорта – ... догадка в правильном направлении: апероидические кометы [подразумевая под этим общим названием и долгопериодические] происходят действительно из КТ-диссипантов, но не “отражен-

ных” (задержанных на орбитах с [энергией] $E < 0$) чем-то вроде “гравитационного экрана” из соседних звезд, еще не доходя до них, а из КТ-диссипантов, запутавшихся в толще звездного фона, случайно приобретших в нем [находясь в состоянии броуновского движения и подчиняясь его законам] направление, ведущее в “кометную” окрестность Солнца»¹⁸. Эта новая концепция находится на пути своего внедрения в сознание астрономов¹⁹. В цитируемой монографии впервые был проведен детальный критический и творческий анализ всей истории развития сложнейшей проблемы кометной космогонии, вклю-

чая предысторию возникновения и эволюции представления об ОО, и показаны место, развитие и роль этой гипотезы Оорта как важного этапа на пути ее решения. (Предшественником Оорта в этом, как впервые заметил американский астроном Ф. Уиппл²⁰ и как это более детально обосновал Ф.А. Цицин, был эстонский астроном Э.Ю. Эпик; ЗиВ, 1993, № 3.)

Начав с 1932 г. и продолжая на протяжении всей своей жизни исследовать межзвездное вещество и темную материю, Оорт постепенно пришел к убеждению о значительном вкладе их в среднюю плотность вещества в нашей звездной Вселенной.

¹⁸ Там же.

¹⁹ Для их более широкого распространения в настоящее время подготовлен английский перевод вышеупомянутой монографии Ф.А. Цицина.

²⁰ О. Струве, В. Зебергс. Астрономия XX века. М.: Мир, 1968. С. 202.

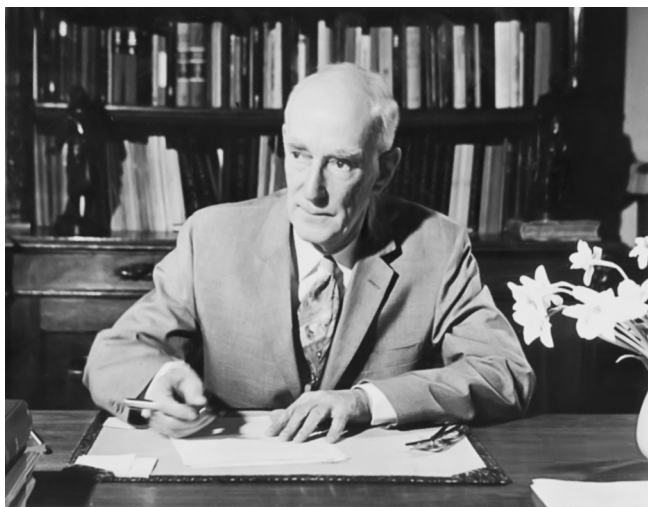
¹⁶ Издана посмертно в 2009 г.

¹⁷ Цицин. 2009. С. 166, примеч. 1.

В 1950-е гг. Оорт и ван де Хюлст разработали теорию образования межзвездной пыли и показали, что ее частицы (не металлические, как думали прежде, а похожие на загрязненный лед конгломераты из более легких атомов) образуются в результате аккреции (налипания) на них межзвездного газа, а не при распаде метеорных тел, как тогда считалось.

В своих теоретических исследованиях Оорт показал, что огромные облака водорода задерживаются в спиральных рукавах Галактики и верно предсказал, что эти молекулярные облака и являются областями звездообразования. В звездной космогонии в 1955 г. Оорт высказал также (совместно с Л. Спитцером, США) идею о механизме формирования звездных облаках в окрестностях горячих звезд, где гравитационное сжатие усиливается давлением излучения таких звезд. В дальнейшем советский астрофизик Э.А. Дибай (1931–1983) предположил (1960, 1963), что конечная стадия такого процесса резкого обжатия диффузной материи может проявляться в виде необычных наблюдаемых диффузных туманностей – «кометоподобных» (выделенных еще В. Гершелем в XVIII в.) и что их наиболее яркая головная часть может быть формирующейся молодой звездой типа Т Тельца²¹.

Исследования Галактики, особенно – загадочного центрального района Млечного Пути, Оорт продолжал до последних дней своей удивительно долгой творческой жизни. В некрологе Оорта, написанном индийским



Я.Х. Оорт в своем кабинете. 1960-е гг.

астрономом Г. Шринивасаном, приведен впечатляющий список работ Я.Х. Оорта, написанных в последнее десятилетие жизни ученого: с 1981 по 1991 г. (!)²² Среди них – доказательство наличия квазаров в сверхскоплениях галактик; природа, эволюция и происхождение крупномасштабной структуры Вселенной; распределение орбит комет. В области метagalактической космогонии – исследование сверхскоплений галактик с огромными красными смещениями и постановка неожиданных («наблюдательных») задач: а нельзя ли наблюдать протоскопления галактик и даже рождение космологических «блинов», введенных в космологическую картину выдающимся физиком и космологом XX в. академиком Я.Б. Зельдовичем (1914–1987), иначе, начальную фрагментацию первичного вещества после Большого Взрыва и рождения нашей Вселенной – Метагалактики.

В истории мировой астрономии Я.Х. Оорт получил широкую извест-

²¹ Развитие астрономии в СССР. 1917–1967. М.: Наука, 1967. С. 296.

²² Впечатляющий список публикаций Я.Х. Оорта можно увидеть и в других материалах о нем в интернете.



Я.Х. Оорт в экспедиции по поиску места для Европейской Южной Обсерватории (ESO), в Чили. 1963 г.



Высокогорная (2635 м над уровнем моря) астрономическая обсерватория в Чили на вершине горы Серро-Параналь в пустыне Атакама в 120 км южнее г. Антофагаста, принадлежащая Европейской Южной Обсерватории. Фото 16 ноября 1999 г.

ность и признание и как общественный деятель. В течение 13 лет (1935–1948) Оорт был генеральным секретарем Международного астрономического союза (МАС), а на X Генеральной ассамблее МАС в Москве (1958) был избран его президентом. Он был непременным участником (до 1976 г.) всех 16-ти его ассамблей.

Как президент МАС (1958–1961) Оорт сыграл большую роль в реализации широкого наблюдательного мероприятия – Международного геофизического года (МГГ), а также в деятельности Комитета по космическим исследованиям (КОСПАР)²³, созданного в начавшуюся со второй половины XX в. эпоху астрономических исследований с помощью космических обсерваторий и автоматических межпланетных станций. По инициативе Оорта в 1960-е гг. была создана, после почти 10-летних хлопот, международная Европейская Южная Обсерватория (ESO) на севере Чили (в горах Параналь в высокогорной пустыне Атакама с ее уникальным астроклиматом – 350 ясных ночей в году!), первым президентом которой он был в 1964–1965 гг. Первые крупные телескопы в ней начали действовать уже с конца 1960-х гг., в настоящее время она славится большими комплексами из оптических и радиотелескопов. В ней находится комплексное сооружение из 8 синхронно работающих больших телескопов-рефлекторов, диаметр

зеркала наибольшего из них 39 м! Комплекс состоит из четырех 8,2-метровых оптических телескопов и носит название VLT («Самый большой телескоп»). В радиоастрономии особой дополнительной заслугой Оорта является ор-

²³ Одним из его создателей был ван де Хюлст, ставший известным астрономом.

ганизация им Комитета МАС по распределению радиочастот (IESAF).

Признание Оорта было всемирным. Помимо избрания в члены Нидерландской королевской академии наук (1937), он был иностранным членом Национальной академии наук США (1953), Лондонского королевского общества (1959), Парижской академии наук (1962), Академии наук СССР (1966), почетным членом (1973) созданной в XVII в. Немецкой академии естествоиспытателей «Леопольдина». Это отразилось и в его многочисленных научных наградах. Я.Х. Оорт был награжден самыми почетными медалями: имени Кэтрин Брюс Тихоокеанского Астрономического общества (1942), Золотой медалью от Лондонского королевского астрономического общества (1946), медалью Карла Шварцшильда (1972) и др. Его удостоили премиями Жюль Жансена (1947) и Генри Норриса Рассела (1951). Особой наградой для Оорта стали прочитанные им «Лекции Карла Янского» (почетное приглашение прочитать курс из трех лекций по радиоастрономии, 1967). Этот поток наград завершила Япония – премией Киото (1987). Именем ученого назван астероид № 1691 (открыт в Главном поясе астероидов 9 сентября 1956 г. немецким астрономом К. Рейнмутом и голландским астрономом И. ван Хаутеном-Груневельдом в обсерватории Гейдельберга в Германии), а также кратер на Плутоне. Еще в 1955 г. Оорт был включен в список журнала «Life», как «один из 100 самых известных из ныне живущих людей, ...поставивший Нидерланды [прежде всего, своей деятельностью пионера радиоастрономии] на передний план послевоенной астрономии».



Я.Х. Оорт в старости.
1980-е гг.

Покинув в 1969 г. (по возрасту) пост директора Лейденской обсерватории, Оорт не оставлял научной деятельности до конца жизни: писал статьи и занимался исследованием Млечного Пути и других галактик. Он проявлял глубокий интерес к искусству: в своих зарубежных поездках он стремился посетить местные музеи и выставки, в 1950-е гг. в течение нескольких лет даже занимал пост председателя Комитета изобразительных искусств Лейденского академического центра искусств.

В жизни Ян Хендрик Оорт был, по отзывам коллег, добрым и скромным человеком, любящим семьянином: он женился в 1927 г. и имел двух сыновей и дочь. Умер Я.Х. Оорт 5 ноября 1992 г. в Лейдене в возрасте 92.5 лет²⁴.

Статья была подготовлена автором к 120-летию Я.Х. Оорта.



Мемориальная доска на доме, где родился Я.Х. Оорт, в г. Франекере

²⁴ Жена, с которой он познакомился в университетских кругах, пережила его на один год (1906–1993). Но «астрономической династии» не получилось. Дочь его стала художницей в Нидерландах, один из сыновей профессором климатологии в Принстоне (США).

In memoriam

МАЙКЛ КОЛЛИНЗ

DOI: 10.7868/50044394821040095

28 апреля 2021 г. в США на 91-м году жизни от рака скончался от рака астронавт, летчик-испытатель, бригадный генерал ВВС США Майкл Коллинз (27-й космонавт мира, 16-й астронавт США) – участник первой лунной экспедиции на корабле «Аполлон-11». Сообщение о его кончине было опубликовано от имени членов

семьи астронавта. Свои последние дни он провел в окружении близких и родных: *«Майк всегда встречал жизненные вызовы с изяществом и смирением и точно так же справлялся с этим своим последним испытанием»*. В NASA выразили соболезнования в связи с кончиной одного из старейших астронавтов, отметив, что его наследие продвигает



Майкл Коллинз с дочерьми Энн и Кейт рядом с командным модулем «Колумбия» корабля «Аполлон-11» в Национальном музее авиации и космонавтики в Вашингтоне. 14 июня 2016 г.
Eric Long/NASM



Астронавт М. Коллинз в кабине корабля «Джемини-10».

Справа – сближение корабля «Джемини-10» с ракетой-мишенью «Аджена-10». 18 июля 1966 г.

Фото NASA

человечество дальше в космос. «Сегодня страна потеряла настоящего пионера и пожизненного защитника исследований в лице Майкла Коллинза, – сказал исполняющий обязанности администратора NASA Стив Юрчик. – В качестве пилота командного модуля “Аполлона-11” – некоторые называли его “самым одиноким человеком в истории”, – в то время как его коллеги впервые ступили на Луну, он помог нашей стране достичь решающего рубежа». Эдвин Олдрин, бывший астронавт NASA и пилот лунного модуля «Орел» миссии «Аполлон-11», тоже поделился в Facebook своей грустью по поводу кончины коллеги: «Дорогой Майк, где бы ты ни был или где бы ты ни оказался, ты всегда заражал своим энтузиазмом, твой огонь Прометея, перенесет нас к новым высотам космонавтики и в будущее свершения. Мы будем скучать по тебе. Покойся с миром. # Apollo11». (Базз Олдрин теперь остается последним живым участником исторического полета, Нил Армстронг скончался в 2012 г. в 82-летнем возрасте; ЗиВ, 2013, № 1, с. 48–54.) Майкл Коллинз был женат (жена умерла в 2014 г.), у него остались две дочери и сын.

Майкл Коллинз (Michael «Mike» Collins) родился 31 октября 1930 г. в Риме в семье военного атташе США. В 1952 г. он окончил Военную академию США, после чего решил стать военным летчиком-истребителем. Прошел летную подготовку на базах в Миссисипи, Техасе, Неваде. До 1958 г. служил пилотом и командиром звена 21-го истребительно-бомбардировочного авиакрыла. В 1958 г. прошел подготовку на Курсах офицеров по ремонту авиационной техники в Иллинойсе. Служил командиром авиаотряда на базе ВВС Селфридж в Мичигане. В 1959 г. окончил Курсы офицеров эскадрильи в Алабаме, в 1961 г. – Школу ВВС США по подготовке пилотов для экспериментальных летных испытаний в Калифорнии. Служил летчиком-испытателем в Летно-испытательном центре на базе ВВС «Эдвардс» в Калифорнии. Занимался всеми видами испытаний новых моделей самолетов (общий налет составил более 5 тыс. часов): F-80, F-86, F-100, F-101, F-102, F-104, F-105, F-106, T-33, T-37, T-38, A-7, F-15, T-39 и F-16.

В 1962–1963 гг. прошел подготовку в Аэрокосмической школе пилотов-исследователей ВВС. В 1963 г. он



Майкл Коллинз – командир экипажа «Аполлон-11», пилот командного модуля «Колумбия». 1969 г. Фото NASA

был включен в третий отряд астронавтов NASA в числе 14 человек. Первым из своего набора оказался в дублирующем экипаже корабля «Джемини-7» (Gemini 7). Первый полет в космос совершил на корабле «Джемини-10» (Gemini X) в июле 1966 г. продолжительностью 2 дня 22 часа 46 мин, где его командиром был Джон Янг (девятый астронавт, ступивший на поверхность Луны). В этом полете Коллинз дважды выходил в открытый космос общей длительностью 1 час 29 мин, став третьим по счету американским астронавтом, побывавшим в открытом космосе. В ходе полета были проведены научные эксперименты, но основной программой стала стыковка с ракетой-мишенью «Аджена-10» (Agena X)., С ее помощью осуществлен вывод корабля на более высокую орбиту с апогеем 763 км (достигнута впервые в мире) для отработки орбитального маневрирования, съемки Земли и оценки радиационной опасности в будущих лунных экспедициях. На следующий день

двигателями «Аджены» орбита была снова понижена до высоты 394 км для подлета к ракете-мишени «Аджена-8» (Agena VIII). После сближения с ней на расстояние 3 м Коллинз совершил второй выход в открытый космос (впервые в мире), подлетел и закрепился на ракете-мишени «Аджена-8» и забрал экспериментальный аппарат, установленный на ее корпусе.

После нескольких перестановок экипажей Коллинз был назначен пилотом командного модуля корабля «Аполлон-8» (Apollo VIII), но в июле 1968 г. он был выведен из экипажа из-за необходимости хирургической операции. После выздоровления и восстановления он был введен в состав основного экипажа. 16–24 июля 1969 г. Коллинз принял участие в лунной миссии «Аполлон-11» (Apollo XI), был командиром экипажа, пилотировал командный модуль «Колумбия» (Columbia), причем название (Колумбиада – гигантская пушка из романа Жюль Верна «С Земли на Луну») и эмблему экипажа он придумал сам. 20 июля корабль перешел на селеноцентрическую орбиту. 21 июля Нил Армстронг и Базз Олдрин в лунном модуле «Орел» (Eagle) впервые в мире совершили посадку на Луну и стали первыми людьми, ступившими на ее поверхность. Коллинз в течение 36 часов находился на борту основного модуля корабля на окололунной орбите, ожидая возвращение «Орла», выполнив 18 витков. В своей автобиографии он написал: *«Это предприятие было организовано для трех человек, и я считаю, что моя роль третьего так же была необходима, как и любого из двух других». В течение 48 мин каждой орбиты, когда он был вне радиосвязи с Землей, чувство, о котором он сообщил, было не страхом или одиночеством, а скорее «осознанием, ожиданием, удовлетворением, уверенностью, почти ликованием».* 24 июля экипаж «Аполлона-11» благополучно вер-

нулся на Землю. Продолжительность полета составила 8 суток 3 часа 18 мин. После полета экипаж находился в карантине 17 дней в Лунной приемной лаборатории. 29 сентября 1969 г. астронавты с супругами отправились в мировое турне – поездку доброй воли, которая продолжалась 38 дней: остановки были в 29 городах 22 стран, астронавты дали 22 пресс-конференции, им вручили 9 высших национальных государственных наград.

В 1970 г. Коллинзу предложили место командира дублирующего экипажа корабля «Аполлон-14», что давало ему возможность отправиться к Луне еще раз в основном экипаже «Аполлона-17», но он отказался от предложения и закончил карьеру астронавта. В 1971 г. был назначен помощником командующего первым смешанным авиакрылом штабного командования, с 1973 г. стал заместителем начальника штаба ВВС США по научно-исследовательским и опытно-конструкторским работам, с 1976 г. – помощником начальника Командования разработки систем и вооружения ВВС на базе ВВС «Эндрюс» в Мэриленде. В 1982 г. ушел в отставку в звании бригадного генерала. С 1971 г. Коллинз занимал пост директора Национального музея авиации и космонавтики США, с 1978 г. – заместитель ученого секретаря Смитсоновского института в Вашингтоне. В 1980–1985 гг. стал вице-президентом компании LTV Aerospace & Defense Co., в 1985 г. – президентом собственной консалтинговой фирмы Michael Collins Associates. Коллинз



М. Коллинз в командном модуле корабля «Аполлон-11» во время полета на окололунной орбите. 19 июля 1969 г. Фото NASA

автор и соавтор нескольких книг о космонавтике: «Первые на Луне» (First on the Moon; 1970), «Оседлавшие огонь» (Carrying the Fire; 1974), «Полет на Луну и в другие странные места» (Flying to the Moon and Other Strange Places; 1976), «Старт: История американской космонавтики» (Lift Off: The Story of America's Adventure in Space; 1988).

Коллинз награжден Крестом «За выдающиеся летные заслуги» и медалью ВВС «За выдающиеся заслуги», медалями NASA «За выдающиеся заслуги» и «За исключительные заслуги», высшей наградой США Золотой медалью Конгресса, «Президентской медалью свободы», премией Галабера Международной астронавтической федерации, медалью Каллума Американского географического общества, включен в Зал славы астронавтов в г. Тайтусвилл (штат Флорида). В 1970 г. Международный астрономический союз присвоил имя Майкла Коллинза кратеру на видимой стороне Луны.

Герасютин С.А.

Михаил Исаакович Синельников – поэт и переводчик, исследователь литературы, автор многих авторских сборников и переводов. Одна из его недавних работ – переложение монументального эпоса «Нарты» в его тюркском (карачаевско-балкарском) варианте. Отрывок из этого произведения был опубликован в № 6, 2019 г. нашего журнала.

По просьбе редакции Михаил Исаакович выбрал несколько недавних стихотворений, связанных с темами ЗиВ – космосом и месте человека в нем. Представляем их читателям.

DOI: 10.7868/50044394821040101

Михаил СИНЕЛЬНИКОВ
ПРОЙДЯ ПО ЗЕЛЕННОЙ ЗЕМЛЕ

* * *

Холодное царство Плутона,
Дрянная планета его,
Чернеет в глуши небосклона,
Там нет для меня ничего.

И вот — воплощенье какое
В земном первородном тепле!
Прожил — не нашел я покоя,
Пройдя по зеленой Земле.

Куда же, насытившись бурей,
Душа полетит в тишине?
Быть может, на желтый Меркурий,
Немеркнувший в вечном огне.

* * *

Как было небо звездное бездонно
И трепетал познания смутный свет,
Когда в саду на пире у Платона
Сходились все, достойные бесед!

Когда бы ты попал туда, незнайка,
И что-нибудь поведал им о нас,
Ну, чем бы удивил их, угадай-ка!
К чему об электричестве рассказ?

Кончался век пастушеских идиллий,
Любовников пустая болтовня,
И факелы горели и чадили,
И было мало светового дня.

* * *

О, это небо Пифагора!
И Гелиос, и Орион,
Персей, открывшийся для взора,
И пенье сфер со всех сторон.

О, сколько музыки бесценной
В мерцающей и льющей свет,
Столь стройной эллинской вселенной!
Она прекрасна, спору нет.

И вся в эфирной оболочке...
А ведь действительность груба,
И кличет Диоген из бочки
Нерасторопного раба.

* * *

Минувшее... Уже нехстати
Та затаившаяся тишь...
К почти что невозможной дате
Ты все стремительней летишь.

Встают иные небосводы
И ускореньеросло.
Но ведь с тобой и эти годы,
Доставшиеся тяжело.

Поскольку ты в их пестрой смене
От ошущенья не отвык,
Что в отделившейся ступени
Пожар и крик.

* * *

М. Черненко

Мне говорят, что встретились они,
Вновь счастливы, общаясь в кущах рая.
Когда свой бег остановили дни,
Для них реальность началась вторая.

Какая вера на похоронах!
Так значит, можно, если только примут,
Оставив обратившееся в прах,
Бессмертия усвоить вечный климат?

Крепись и веруй в эту благодать!
Иное дело – грез не знать блаженных,
Навек проститься и пылинкой стать
В безмолвном вихре мыслящих вселенных.

* * *

Пройдя свой путь по мысленным ступеням,
Переселяясь в этот зыбкий стих,
Ничьим я не являюсь воплощеньем
И не хочу родителей иных.

Другой страны и жизни не желаю
И в пестроте мелькающих годов,
Готовый к незаслуженному раю,
К исчезновенью полному готов.

Но помнится: когда лежал, недужа,
В жару высвобождения горя,
Мне чудилась высокогорья стужа
И выщербленный двор монастыря.

Там я, мальчишка с чашкой деревянной,
На перемене получаю рис,
И с облака, объятого нирваной,
На игры наши Будда смотрит вниз.

EARTH & UNIVERSE

4 (340), 2021
July–August

Invited editor: Ivan V. ZIMOVETS

TABLE OF CONTENT:

Ivan V. ZIMOVETS Editorial	3
Leonid S. LEDENTSOV, Boris V. SOMOV Magnetic Reconnections And the Bastille Day	8
Sergey A. BOGACHEV, Artem S. ULYANOV, Alexey S. KIRICHENKO, Ivan P. LOBODA, Anton A. REVA The Sun Under Microscope: Solar Flares, Micro- And Nanoflares	24
Vyacheslav M. SADYKOV, Egor A. ILLARIONOV Machine Learning for Solar Studies	35

HYPOTHESES, IDEAS, DISCUSSION

Mikhail V. RODKIN Solar Activity And Social Crises: the Present Moment	46
--	----

XXI CENTURY COSMONAUTICS

Igor A. LISSOV <i>Tiangong</i> Begins	49
---------------------------------------	----

OBSERVATORIES, INSTITUTES

Nikolay I. SHATSKY, Andrei M. TATARNIKOV, Viktor G. KORNILOV, Sergei A. POTANIN, Andrei M. CHEREPASCHUK, Alexander A. BELINSKY, Konstantin A. POSTNOV The New Astronomy Center of Moscow State University: Caucasus Mountain Observatory	61
--	----

HISTORY OF SCIENCE

Olga V. SELIVANOVA Rocket Pioneers. Documents from Private Collections of Nikolay Rynin, Sergey Korolev, Archive of the Russian Academy of Sciences. Part 2	82
---	----

PEOPLE OF SCIENCE

Alina I. EREMEEVA Jan Hendrik Oort	92
------------------------------------	----

HISTORY OF COSMONAUTICS

Michael Collins	104
-----------------	-----

LITERARY SPACE

Mikhail I. SINELNIKOV Poems	108
Table of Content and Selected Abstracts	110

Front page: On August 31, 2012 a long filament of solar material that had been hovering in the sun's atmosphere, the corona, erupted out into space at 4:36 p.m. EDT. The image above includes an image of Earth to show the size of the CME compared to the size of Earth. Credit: NASA/GSFC/SDO https://images.nasa.gov/details-GSFC_20171208_Archive_e001660

EARTH & UNIVERSE

4 (340), 2021
July–August

Magnetic Reconnections And the Bastille Day

Leonid S. LEDENTSOV, Boris V. SOMOV

Sternberg Astronomical Institute, Lomonosov Moscow State University

DOI: 10.7868/S0044394821040010

In modern astrophysics — particularly, in X-ray and gamma-ray astronomy — solar flares have become a kind of standard in the studies of flare processes of electromagnetic nature. In contrast to the analogous phenomena in other stars the solar flares provide an opportunity for the comprehensive study of magnetic reconnections in both the high-temperature highly magnetised plasma of the Sun's corona and low-temperature weakly ionised plasma of the photosphere.

The Sun Under Microscope: Solar Flares, Micro- And Nanoflares

Sergey A. BOGACHEV, Artem S. ULYANOV, Alexey S. KIRICHENKO,
Ivan P. LOBODA, Anton A. REVA

Lebedev Physical Institute, Russian Academy of Sciences

DOI: 10.7868/S0044394821040022

The Sun gives us light and heat, the basics of our life. On the other hand our star is a source of hard radiation and high-energy particles that propagate towards the planets and Earth, in particular, the fluxes of the radiation and particles are strongly amplified during solar flares. In this paper the authors discuss the nature of the flares, latest advances in the study of their nature, and perspectives in this field of science.

Machine Learning for Solar Studies

Egor A. ILLARIONOV^{1,2}, Vyacheslav M. SADYKOV³

¹ Lomonosov Moscow State University

² Moscow Center for Fundamental and Applied Mathematics

³ Georgia State University, Atlanta, GA, USA

DOI: 10.7868/S0044394821040034

In the paper we show several examples, when the machine learning algorithms help to solve the problems in solar studies and what are the main features of this approach. We discuss convolutional neural networks; cluster analysis; and binary classification.

Индекс 70336

Земля и Вселенная, 4/2021

Приглашенный редактор: И.В. Зимовец

Заведующая редакцией А.Ю. Обод

Редакторы С.А. Герасютин, О.В. Закутняя, Д.А. Кононов

Корректор С.О. Розанова

Верстка макета Н.В. Мелкова

Просим обращаться

по вопросам публикации материалов:

(495)276-77-35 (доб. 42-31), e-mail: zevs@naukaran.com

по вопросам сотрудничества:

(495)276-77-35 (доб. 43-01 или 43-02),

e-mail: journals@naukaran.com

Журнал зарегистрирован Государственным комитетом

Совета министров СССР по печати 28 июня 1991 г.

Свидетельство о регистрации № 2119

www.naukabooks.ru/zhurnali/katalog/zemlja-i-vselennaja/

Все права защищены.

Перепечатка материалов возможна только с разрешения редакции.

Мнение редакции может не совпадать с мнением автора.

Все иллюстрации в статьях предоставлены авторами.

*Ответственность за точность и содержание рекламных
материалов несут рекламодатели*

12+

Сдано в набор 26.05.2021 г. Подписано к печати 20.08.2021 г.

Дата выхода в свет 25.08.2021 г. Формат 70 × 100¹/₁₆

Цифровая печать Усл.печ.л. 9.75 Уч.-изд.л. 10.0 Бум.л. 3.75

Тираж 1000 экз. Зак. 14 Цена свободная

Учредители: РАН, ФГУП «Издательство «Наука»

Редакция и издатель: ФГУП «Издательство «Наука»

Адрес: 117997 Москва, ул. Профсоюзная, 90

Отпечатано в типографии ФГУП «Издательство «Наука»

Адрес: 121099 Москва, Шубинский пер., 6

АкадемКнига

Букинистический отдел осуществляет покупку и продажу научной литературы, книг по искусству, антикварных изданий, старинных открыток, гравюр и фотографий

Для оценки крупных библиотек выезжаем на дом

Принимаем заказы

Формируем библиотеки

Адрес: 101000, Москва, Б. Спасоглинишевский пер., 8, стр. 4

E-mail: bukinist@naukaran.com

Справки по телефону:

8 (495) 624-7219



Реклама



НОВИНКИ И АКЦИИ В СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЯХ



[instagram.com/naukapublishers](https://www.instagram.com/naukapublishers)



[facebook.com/naukapublishers](https://www.facebook.com/naukapublishers)



vk.com/naukapublishers



Типографии ФГУП "Издательство "Наука"
www.tnauka.ru

- переплетные работы
- тиснение фольгой
- цифровая печать
- офсетная печать
- ламинирование
- цветоделение
- сканирование
- брошюровка
- лакирование
- цветопроба
- нумерация
- высечка
- верстка
- СТР

- ▶ Разумная ценовая политика
- ▶ Высокое качество продукции
- ▶ Реальные сроки выполнения заказов
- ▶ Работа высококлассных профессионалов



- ♦ Удобное месторасположение
- ♦ Тиражи от 20 экземпляров

- афиши
- календари
- удостоверения
- адресные папки
- визитные карточки
- фирменные бланки
- брошюры, журналы
- эксклюзивные издания
- полноцветные плакаты
- художественные альбомы
- книги в твердом переплете
- листовки, рекламные буклеты
- наклейки на бумажных материалах

Москва

Санкт-Петербург

Новосибирск

“Наука”
Индекс 70336



ЗЕМЛЯ (для масштаба)